

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
(В И Н И Т И Р А Н)

ТРАНСПОРТ
НАУКА, ТЕХНИКА, УПРАВЛЕНИЕ
НАУЧНЫЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ СБОРНИК
TRANSPORT
SCIENCE, EQUIPMENT, MANAGEMENT
SCIENTIFIC INFORMATION COLLECTION

Издается с 1990 г.

№ 9

Москва 2024

ВАК при Минобрнауки РФ письмом от 06.12.2022 № 02-1198 сообщила, что научные журналы, включенные в Перечень научных рецензируемых журналов (Перечень ВАКа) разделены на три научные категории – 1, 2 и 3 на основе рассчитанных научометрических показателей и оценки научного качества журналов.

Научный информационный сборник «ТРАНСПОРТ: наука, техника, управление» включен в число журналов 1 категории, что обозначается индексом К1 (информационно: позиция в упомянутом письме п. 441).

СОДЕРЖАНИЕ

ЛОГИСТИКА

Ларин О. Н., Капский Д. В., Капский П. Д. Модель состояний отказоустойчивой цепочки поставок	3
Земсков В. В. Международные транспортные коридоры, влияющие на обеспечение экономической безопасности страны.....	8
Больт А. С., Больт П. С., Власова А. В. Организация пассажирских мультимодальных перевозок в современных условиях	17

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ

Подсорин В. А., Буровцев В. В., Кобылицкий А. Н., Куранова А. А. Оценка влияния отраслевой и региональной структуры перевозок на транспортное обслуживание населения.....	26
Сергеев И. К., Пищик А. В. Исследование влияния поперечного смещения центра тяжести груза на устойчивость вагона в кривом участке пути	41
Задорожний В. М., Богачев В. А., Богачев Т. В. Жёсткие и мягкие математические модели в изучении процесса управления порожними вагонопотоками	49

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

Грушников В.А. Аспекты автомобильной и автотранспортной функциональности и безопасности. Электрифицированный подвижной состав.....	55
Дергоусова А.В., Ивахненко А.М., Фадеева Е.Ю., Михеев Н.Е. Развитие рынка электромобилей и зарядной инфраструктуры.....	63
Тетерин М.Ф., Калимуллин Р.Ф., Кулаков А.Т. Состояние и проблемы обеспечения качественным дизельным топливом грузовых автомобилей	71
Носков А. А., Терентьев А. В., Арифуллин И. В. Метод оценки вкладов отдельных структур в эффективность системы грузовых автомобильных перевозок	79
Информация для авторов	88

CONTENTS

LOGISTICS

Larin O. N., Kapski D.V., Kapski P. D. Model of State a Resilient Supply Chain	3
Zemskov V. V. International transport corridors that affect the country's economic security	8
Bolt A. S., Bolt P. S., Vlasova A. V. Organization of multimodal passenger transportation in modern conditions.....	17

RAILWAY TRANSPORT

Podsorin V.A., Burovtsev V.V., Kobylitsky A.N., Kuranova A.A. Assessment of the influence of industry and regional transportation structure on transport services to the population.....	26
Sergeev I. K., Pishik A. V. Investigation of the transverse displacement effect of the cargo center of gravity on the railcar stability in a curved section of the track	41
Zadorozhniy V. M., Bogachev V. A., Bogachev T. V. Hard and soft mathematical models in research of the empty wagonflows control process.....	49

AUTOMOBILE TRANSPORT

Grushnikov V.A. Aspects of automotive and vehicle functionality and safety. Electrified rolling stock	55
Dergousova A.V., Ivakhnenko A.M., Mikheev N.E. Development of the electric vehicle market and charging infrastructure	63
Teterin M.F., Kalimullin R.F., Kulakov A.T. State and problems of providing quality diesel fuel for trucks	71
Terentyev A. V., Noskov A. A., Arifullin I. V. Method of assessing the contribution of individual structures to the efficiency of the road freight transportation system.....	79
Information for autors	88

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ СБОРНИКА

(по состоянию на 07.03.2023 г.)

Наукометрический показатель	Значение
Двухлетний импакт-фактор в РИНЦ	0,419
Двухлетний импакт-фактор с учетом цитирования из всех источников	0,681
Пятилетний импакт-фактор в РИНЦ	0,327
Число статей за год в РИНЦ	130

ЛОГИСТИКА

Научная статья

УДК 658.7

DOI: 10.36535/0236-1914-2024-09-1

МОДЕЛЬ СОСТОЯНИЙ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОЙ ЦЕПОЧКИ ПОСТАВОК

Ларин Олег Николаевич

larin_on@mail.ru

(Российский университет транспорта,

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации)

Капский Денис Васильевич

d.kapsky@gmail.com

Капский Павел Денисович

pavelkap2001@gmail.com

(Белорусский национальный технический университет)

Аннотация. В статье рассмотрены актуальные задачи повышения отказоустойчивости цепей поставок. С учётом сетевой структуры эффективность работы цепи поставок напрямую зависит от надежности всех звеньев (участников) цепочки. Под отказом понимается наступление неблагоприятного события, которое происходит под влиянием внутренних или внешних факторов и нарушает работоспособное состояние объекта. Отказоустойчивая цепочка поставок способна сохранять работоспособное состояние за счёт реагирования на отказы. В исследовании представлена модель изменения состояний работы звеньев цепочки поставок, которая позволяет оценить эффективность различных вариантов отказоустойчивого реагирования на отказы.

Ключевые слова: цепочка поставок, отказ, сбой, отказоустойчивость, реагирование на отказы, моделирование состояний

Для цитирования: Ларин О. Н., Капский Д. В., Капский П. Д. Модель состояний отказоустойчивой цепочки поставок // Научный информационный сборник. Транспорт: наука, техника, управление. 2024. № 9. С. 3-7. DOI: 10.36535/0236-1914-2024-09-1.

LOGISTICS

Scientific article

MODEL OF STATE A RESILIENT SUPPLY CHAIN

Oleg N. Larin

larin_on@mail.ru

(Russian University of Transport, Financial University
under the Government of the Russian Federation)

Denis V. Kapsky

d.kapsky@gmail.com

Pavel D. Kapsky

pavelkap2001@gmail.com

(Belarusian National Technical University)

Abstract: The article discusses current problems of increasing the fault tolerance of supply chains. Taking into account the network structure, the efficiency of the supply chain directly depends on the reliability of all links (participants) in the chain. Failure means the occurrence of an unfavorable event that occurs under the influence of internal or external factors and disrupts the operational state of the object. A resilient supply chain is able to remain operational by responding to failures. The study presents a model of changes in the operating states of supply chain links, which allows us to evaluate the effectiveness of various options for fault-tolerant response to failures.

Keywords: supply chain, failure, fault, resilience, response to failures, state modeling

For citation: Larin O.N., Kapsky D. V., Kapsky P. D. Model of state a resilient supply chain // Scientific Information Collection. Transport: science, equipment, management. 2024. № 9. P. 3-7. DOI: 10.36535/0236-1914-2024-09-1.

Введение

В соответствии с положениями указа Президента Российской Федерации №309 от 07.05.2024 г. «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» перед транспортно-логистическим сектором страны поставлена задача по повышению эффективности функционирования экспортных цепочек поставок (далее – ЦП) несырьевых неэнергетических товаров. В контексте данного исследования под эффективностью понимается соотношение между достигнутым результатом и использованными ресурсами, как это сформулировано в ГОСТ Р ИСО 9000-2015. Ключевым условием реализации данной задачи является обеспечение надежной работы всех звеньев ЦП.

Современные ЦП являются сложносистемными организационно-экономическими образованиями, которые состоят из множества технологически взаимосвязанных снабженческо-производственно-сбытовыми процессами и географически рассредоточенных хозяйствующих субъектов (производителей сырья и его переработчиков, изготовителей готовой продукции и её потребителей, дистрибутеров, транспортных компаний, логистических посредников, владельцев терминально-складской инфраструктуры и других участников), которые являются звенями таких цепочек и обеспечивают своевременную доставку сырья и распределение готовой продукции. С учётом сетевой структуры ЦП эффективность её работы напрямую зависит от надежности всех звеньев (участников) цепочки. По данным [1], во всем мире действует около 13 миллиардов трансграничных цепочек поставок, которые объединяют более 300 миллионов предприятий с различной национальной и отраслевой принадлежностью.

В последнее время эффективность функционирования многих национальных и глобальных ЦП снижается из-за активного воздействия на работу их звеньев со стороны многочисленных нежелательных факторов (случайных событий) различной природы, в частности, природные катаклизмы, техногенные катастрофы, вооруженные нападения и кибератаки, глобальные геополитические и геоэкономические изменения и так далее [2, 3]. Воздействие любого нежелательного фактора приводит к отказам в работе соответствующего звена ЦП, а также может нарушить работу взаимосвязанных звеньев как «вверх по течению» (*upstream* – в направлении поставщика), так и «вниз по течению» (*downstream* – в направлении потребителя) цепочки.

Поэтому вопросам обеспечения надежной работы ЦП уделяется большое внимание в научных исследованиях. В наиболее общем смысле под надежностью понимается свойство (способность) системы безотказно работать в предусмотренных условиях эксплуатации, которая оценивается вероятностью $p(t)$ безотказной работы системы в течение заданного периода времени t [4]. Нарушение надежности происходит в связи с отказом (*failure*), под которым понимается наступление неблагоприятного события, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта под влиянием внутренних (независимые отказы) или внешних (зависимые отказы) факторов. Отказ приводит к тому, что участник ЦП становится неспособным выполнять хотя бы одну требуемую функцию – прекращает работу или

снижает эффективность её выполнения. Например, повреждение груза при транспортировке приводит или нарушение сроков доставки приведет к потерям для перевозчика, грузополучателя и других участников ЦП.

В теории надежности также используется термин сбой (*fault, Interruption*), под которым понимается несущественный отказ, способный самоустраниться без вмешательства оператора, либо для его устранения потребуется незначительное вмешательство оператора. Например, движение транспорта по маршруту может быть прервано из-за разрушения дороги. Данный сбой, условно говоря, самоустранился после ремонта пути дорожными службами, либо логист изменит маршрут движения транспортного средства.

Отказоустойчивость цепей поставок

Анализ отечественных и зарубежных источников показывает, что в настоящее время ведётся большая исследовательская работа по систематизации понятий и терминов, характеризующих отказоустойчивое функционирование ЦП. Данная задача является сложной, что обусловлено множественностью причин и последствий отказов, с которыми сталкиваются участники ЦП, а также значительным (глобальным) масштабом их деятельности. Наиболее полно уже раскрыты концептуальные подходы к характеристике условий осуществления безопасности ЦП (*Security Supply Chain*), под которой понимается устойчивость к умышленным, преднамеренным, несанкционированным действиям, направленным на причинение вреда или ущерба цепи или цепи поставок (см., например, ГОСТ Р ИСО 28000-2019, ГОСТ Р ИСО 28001-2019, ГОСТ Р ИСО 28002-2019, ГОСТ Р ИСО 22095-2023). Применительно к сфере безопасности ЦП используется такие термины как «инцидент» (*incident*) – любое действие или обстоятельство, которое порождает неблагоприятные последствия (*consequence*) для участников цепочки в виде человеческих, нематериальных или физических потерь, либо приводят к разрушениям (*disruption*) в виде чрезвычайной ситуации (*emergency*), кризиса (*crisis*) или бедствия (*disaster*) из-за неправильного выполнения операций, услуг или функций организации.

В последнее время много отечественных и зарубежных работ посвящено вопросам обеспечения отказоустойчивости ЦП (*Resilience Supply Chain*), под которой понимается способность участников сохранять операционную эффективность или быстро восстанавливать нормальную работу при нарушениях технологических процессов [5-12]. Данная научно-практическая категория по своему содержанию имеет некоторые сходства с таким свойством системы как «безотказность» (*Reliability, failure-free operation*), под которой понимается способность объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки. Однако суть отказоустойчивости, как было отмечено выше, заключается в том, что система сохраняет работоспособное состояние за счёт реагирования на отказы.

В теории надёжности отказы разделяются на несколько видов: полные и частичные, внезапные (мгновенный выход из строя объекта) и постепенные (параметры, характеризующие состояние системы, изменяются в течение некоторого времени до значений, при которых происходит остановка системы). Примени-

тельно к работе звеньев ЦП можно говорить, что отказы в их работе также могут разделены на разные виды в зависимости от особенностей воздействия нежелательных событий на работу ЦП. Например, непредвиденные (внезапные) катастрофы (unanticipated catastrophes) и разрушения (unanticipated disruptions), а также предсказуемые (постепенные) катастрофы (foreseeable catastrophes) и разрушения (foreseeable disruptions) [13]. Катастрофы происходят редко, оказывают наиболее сильные негативные воздействия на работу ЦП, причиняя крупный экономический ущерб их участникам. Разрушения происходят чаще, причиняют существенный, но менее значительный чем катастрофы, экономически ущерб. В свою очередь сбои в ЦП квалифицируются как «отклонения», которые дестабилизируют работу отдельных звеньев цепочки поставок (не прекращая их работу), что происходит из-за несоответствия фактических значений показателей технологических процессов плановым значениям (опоздание транспорта, нарушение графиков работы, производственный брак и пр.). Работа звена ЦП может подвергаться воздействию прямых и сетевых отказов. Прямые отказы связаны с функционированием определённого звена цепочки. Например, работа подвижного состава зависит от отказов в узлах и агрегатах. В свою очередь наступление сетевых отказов опосредовано нарушениями в работе смежных звеньев (отказ в работе подвижного состава может привести к нарушениям в работе терминала, грузополучателя и так далее).

Динамика состояний отказоустойчивой ЦП

Отказы ЦП имеют важное сетевое свойство, которое проявляется в распространении отказов на смежные звенья [14]. Особенности такой сетевой динамики представляет исследовательский интерес и должны учитываться при моделировании отказоустойчивости ЦП. С учётом случайного характера формирования и воздействия различных факторов на отказы целесообразно использовать вероятностную оценку отказоустойчивости ЦП. При известных вероятностях наступления различных отказов в каждом звене цепочки (нарушение сроков, потеря груза и так далее) могут быть определены возможные варианты распространения отказов и их влияние на логистические процессы и экономические последствия для участников ЦП, что следует учитывать при выборе сбалансированных мер реагирования на отказы.

Функционирование ЦП начинается и завершается в определенном i -м звене U_i ($i = 1, 2, \dots, n$). Начальное звено имеет индекс $i = 1$, завершающее звено – индекс $i = n$. Динамика состояния любого звена ЦП определяется успешностью или не успешностью выполнения технологического процесса. Для демонстрации модели возьмём несложную ЦП из трёх участников:

- 1) поставщик сырья (U_1), который должен в согласованный срок отгрузить плановый объём продукции;
- 2) транспортная компания (U_2), которая должна своевременно доставить сырью производителю;
- 3) производитель готовой продукции (U_3), который должен выполнить заказ клиента.

В зависимости от текущих условий функционирования все звенья U_i могут принимать различные состояния F_j ($j = 1, 2, \dots, m$) – нормальное состояние (без отказа) и одно или несколько состояний с отказом. Если на зве-

но воздействуют разные отказы (совместно или по отдельности) и каждое такое воздействие изменяет состояние звена, то все новые состояния следует идентифицировать.

Ход технологического процесса в i -ом звене ЦП рассматривается как случайный процесс, результатом которого является одно из случайных событий, переводящих звено из состояния F_j в другие смежные состояния. Работа ЦП считается эффективной только при «успешных» событиях, когда фактические показатели технологических процессов во всех её звеньях соответствуют установленным плановыми значениям. Все успешные события формируют линейную последовательность «успешных» состояний звеньев, чередование которых обеспечивает полное выполнение поставленных задач наиболее эффективным способом.

Например, в начальный момент состояние ЦП характеризуется исходным состоянием F_1 поставщика U_1 , который с вероятностью p_1 приступит к исполнению заказа на поставку сырья производителю U_3 . В результате выполнения данного процесса поставщик U_1 изменит своё состояние F_1 на одно из нескольких других: своевременно отгрузит сырье (состояние F_2) или из-за отказа не выполнит условия поставки. Допустим следующие варианты отказов – поставщик вообще не представил к отгрузке нужный товар (состояние F_3) или представил к отгрузке меньшее количество сырья (состояние F_4).

Переход звена в каждое из возможных состояний с отказами характеризуется значениями вероятностей $p_{j-, j+}$, которые принимают значения от 0 до 1. Индексы $j-$ и $j+$ в показателе вероятности $p_{j-, j+}$ показывают между какими состояниями осуществляется переход: F_{j-} – откуда; F_{j+} – куда. Сумма вероятностей всех состояний, на которые звено может изменить своё прежнее состояние, должна быть равна единице. При этом вероятность успешного завершения работы звеном может быть определена путём вычитания из единицы значения суммы вероятностей всех состояний с отказами. Вариант изменения состояния F_1 на три других приведен на рис. 1. Состояния с отказами показаны штриховой линией и закруглёнными углами.

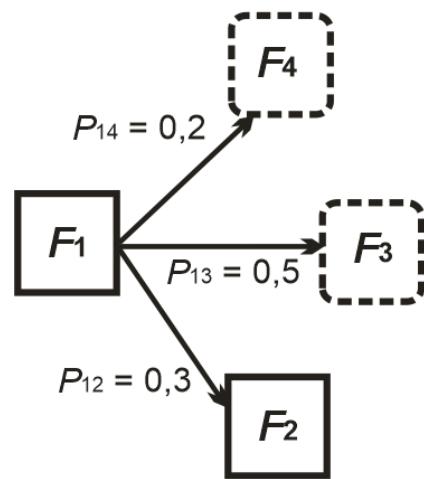


Рис. 1. Возможные состояния звеньев ЦП и вероятности их изменений

Сумма вероятностей p_{12} , p_{13} и p_{14} изменения состояния F_1 на возможные другие (F_2 , F_3 , F_4) равна единице:

$$p_{12} + p_{13} + p_{14} = 0,3 + 0,5 + 0,2 = 1.$$

Переход звена в успешное состояние F_2 означает, что в его работе не было отказов – поставщик отгрузил нужную продукцию в установленный срок. В этом случае материальный поток передаётся следующему участнику ЦП – перевозчику U_2 . Изменение состояний транспортной компании моделируются аналогичным образом.

При этом важным является вопрос какой будет дальнейшая динамика состояний F_3 и F_4 , когда в звене F_1 произошёл отказ? Для таких случаев должны быть предусмотрены меры реагирования на отказы, в результате реализации которых (мер) состояние звена F_1 изменится желаемым образом. Варианты изменения состояний после мер реагирования могут быть различные. Например, если воздействие неблагоприятных факторов было существенным, что привело к нарушению в работе поставщика и он, как следствие, не исполнил заказ (состояние F_4), то после принятия соответствующих мер реагирования (содержание мер конкретизируется с учётом фактических условий, например, ремонт производственного оборудования) поставщик U_1 возобновит производство сырья, чтобы обеспечить отгрузку. В этом случае состояние F_4 изменится на исходное состояние F_1 . Ситуация, когда поставщик не исполнил заказ из-за неполного объёма поставки (состояние F_3), может предусматривать различные меры реагирования. В частности, по аналогии с состоянием F_4 , поставщик U_1 изменит состояние F_3 на F_1 и продолжит выполнять заказ согласно условиям договора с получателем U_3 . Однако на практике может быть и другой вариант, когда поставщик U_1 по согласованию с получателем U_3 отгрузит последнему имеющийся объём сырья (состояние F_3 изменится на F_2). В этом случае следует предусмотреть меры реагирования (например, скорректировать планы последующих отгрузок сырья, увеличить страховые запасы и так далее). Изменения состояний F_3 и F_4 характеризуются соответствующими вероятностями – p_{31} , p_{32} , p_{41} (см. рис. 2). Также следует учитывать, что состояния с отказом F_3 и F_4 могут повлечь за собой ответственность поставщика, например, ему придётся уплатить неустойку (штраф, пеню) покупателю сырья и (или) перевозчику.

Функционирование логистической компании U_2 также может быть успешным, либо сопровождаться сбоями из-за воздействия неблагоприятных факторов. Успешная доставка груза показывается переходом системы из состояния F_2 в состояние F_5 , что подразумевает поступление сырья получателю U_3 . При доставке с отказами состояние логистического процесса изменяется в зависимости от характера нарушений. Например, повреждение груза (состояние F_7) допускает различные варианты действий: полная утрата груза потребует организации новой поставки сырья (переход из состояния F_7 в состояние F_1); частичная утрата допускает по согласованию с получателем передачу сохранившегося объема (переход из состояния F_7 в состояние F_5).

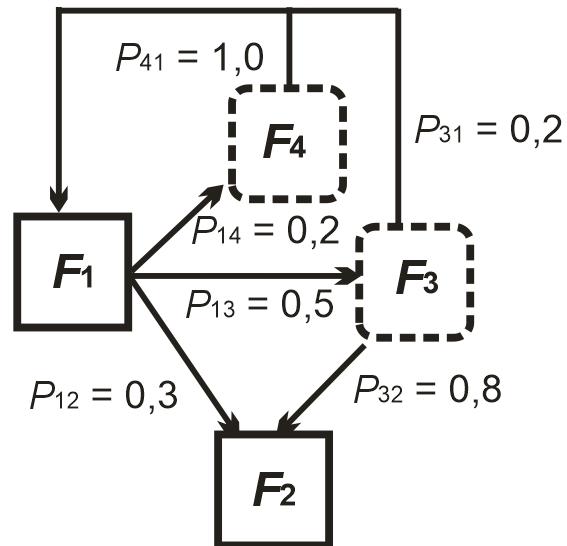


Рис. 2. Модель изменения «неуспешных» состояний F_3 и F_4

В другом случае, например, при неисправности подвижного состава (состояние F_2 изменяется на состояние F_6) происходит отклонение от графика движения. В этом случае перевозчик может оперативно принять меры проактивного реагирования (изменение F_6 на F_8), чтобы нивелировать отклонение от графика (например, доставит груз не автомобилем, а самолётом). В новом состоянии звена U_2 груз будет доставлен в срок (изменение F_8 на F_5) и транспортной компании не придётся платить неустойку. Однако из-за более высоких затрат на авиаперевозку прибыль участника U_2 снизится. Если же перевозчик принял реактивные меры реагирования (отремонтировал подвижной состав и продолжил перевозку) и груз был доставлен позже назначенного срока (изменение F_6 на F_5), то в этом случае логистическая компания уплатит неустойку заказчику. Динамика описанных состояний показана на рис. 3.

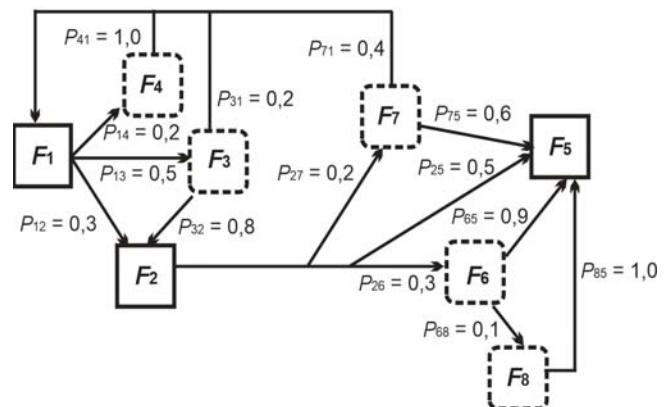


Рис. 3. Модель изменения состояний звеньев ЦП

Заключение

Описанный подход к моделированию состояний ЦП имеет общую методологическую основу с процедурой управления рисками [14]. В частности, представленная модель динамики состояний звеньев ЦП предусматривает действия по определению возможных отказов, что аналогично действиям, которые выполняются при идентификации рисков (выявление источников и определение причин их возникновения). Модель также пре-

дусматривает вероятностную оценку отказов, что аналогично действиям по оценке рисков (определение размера и вероятности отклонений от ожидаемого исхода и оценка влияния таких отклонений на достижение целей). В связи с этим представляется перспективным в рамках дальнейших исследований рассмотреть вопросы применимости методов управления рисками для повышения отказоустойчивости ЦП. Также важно рассмотреть применимость способов определения количественных характеристик рисков для оценки успешных и неуспешных состояний альтернативных вариантов действий участников ЦП в рамках процесса реагирования на сбои.

© Ларин О. Н., Капский Д. В., Капский П. Д., 2024.

Список источников

1. Anton Pichler et al. Building an alliance to map global supply networks. *Science*382, 270-272(2023). DOI:10.1126/science.adf7521.
2. Parast, M.M., Shekarian, M. (2019). The Impact of Supply Chain Disruptions on Organizational Performance: A Literature Review. In: Zsidisin, G., Henke, M. (eds) Revisiting Supply Chain Risk. Springer Series in Supply Chain Management, vol 7. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03813-7_21.
3. Revilla, E., Acero, B., Sáenz, M.J. (2023). Resilience in the Supply Chain. In: Sarkis, J. (eds) The Palgrave Handbook of Supply Chain Management. Palgrave Macmillan, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-89822-9_106-1.40.
4. Вентцель Е.С. Введение в исследование операций / Е. С. Вентцель. – М.: Издательство «Советское радио», 1964. – 388 с.
5. Larin O., Tarasov D., Mirotin L., Rublev V., Kapski D. Resilient Supply Chain Management Model. SHS Web Conf., 93 (2021) 03005. DOI: <https://doi.org/10.1051/shsconf/20219303005>.
6. Brandon-Jones, E, Squire, B, Autry, CW & Petersen, KJ 2014, 'A Contingent Resource-Based Perspective of Supply Chain Resilience and Robustness', *Journal of Supply Chain Management*, vol. 50, no. 3, pp. 55-73. <https://doi.org/10.1111/jscm.12050>.
7. Ponomarov S. Y., Holcomb M. C. Understanding the concept of supply chain resilience //The international journal of logistics management. – 2009. – Т. 20. – №. 1. – С. 124-143.
8. Структурно-функциональный анализ надежности цепи поставок при наличии колебаний спроса / А.Н. Павлов, Д.А. Павлов, В.Н. Воротягин, А.Б. Умаров // Интеллектуальные технологии на транспорте. – 2021. – № 1(25). – С. 61-67.
9. Симонова, Н. Е. Эффективность цепей поставок: подсистемы, процессы, показатели / Н. Е. Симонова, Д. А. Кириченко // Экономика строительства. – 2021. – № 2(68). – С. 39-48.
10. Некрасов, А. Г. Безопасность и отказоустойчивость проактивных цепей поставок / А.Г. Некрасов, А.С. Синицына // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2023. – № 1(35).
11. Finance and Risk Management for International Logistics and the Supply Chain. Editor(s): Stephen Gong, Kevin Cullinane. Elsevier. 2018. – <https://doi.org/10.1016/C2017-0-00048-4>.
12. Garcia Herrero, A. 2023. Resilience of Global Supply Chain: Facts and Implications. ADBI Working Paper 1398. Tokyo: Asian Development Bank Institute. Available: <https://doi.org/10.56506/UKPK2510>.
13. What is supply chain? // McKinsey. – August 2022. – 6 p. – Текст : электронный. – URL: https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/featured%20insights/mckinsey%20explainers/what%20is%20supply%20chain/what_is_supply_chain.pdf.
14. Критерии оценки эффективности работы цепей поставок / О. Н. Ларин, Д. В. Капский, М. В. Матосов, Ц. Моононхуу // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2024. – № 1. – С. 3-11. – DOI 10.36535/0236-1914-2024-01-1.
15. Рогулин, Р. С. Управление рисками в глобальных цепочках поставок: стратегии и инструменты / Р. С. Рогулин // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2024. – № 6. – С. 32-38. – DOI 10.36535/0236-1914-2024-06-5.

Информация об авторах

Ларин Олег Николаевич - доктор технических наук, профессор, профессор Российской университета транспорта, д. 9/9, ул. Образцова, Москва, 127994, Россия, профессор Финансового университета при Правительстве Российской Федерации, пр-кт Ленинградский, д. 49/2, Москва, 125167, Россия.

Капский Денис Васильевич – доктор технических наук, профессор, Белорусский национальный технический университет, пр-т Независимости, 65, Минск, 220013, Беларусь.

Капский Павел Денисович, аспирант кафедры «Экономика и Логистика», Белорусского национального технического университета, пр-т Независимости, 65, Минск, 220013, Республика Беларусь.

Information about the author

Oleg N. Larin - Doctor (Tech.), Professor, Professor of the Russian University of Transport, 9/9 Obrazcova str., Moscow, 127994, Russia, Professor of the Financial University under the Government of the Russian Federation, Leningradsky Ave., 49/2, Moscow, 125167, Russia, e-mail: larin_on@mail.ru.

Denis V. Kapsky - Doctor (Tech.), Belarusian National Technical University, Nezavisimosti av. 65, Minsk, 220013, Republic of Belarus, e-mail: d.kapsky@gmail.com.

Pavel D. Kapsky – PhD student of the Department of Economics and Logistics, Belarusian National Technical University, Nezavisimosti av. 65, Minsk, 220013, Republic of Belarus, e-mail: pavelkap2001@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 04.07.2024, одобрена после рецензирования 15.07.2024, принятая к публикации 12.08.2024.

The article was submitted 04.07.2024, approved after reviewing 15.07.2024, accepted for publication 12.08.2024.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors' contribution: All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The authors declare that there is no conflict of interest.

ЛОГИСТИКА

Научная статья

УДК 658.7

DOI: 10.36535/0236-1914-2024-09-2

ВЛИЯНИЕ МЕЖДУНАРОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СТРАНЫ

Земсков Владимир Васильевич

(Финансовый университет, Москва, Россия)

VVZemskov@fa.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7402-5524>

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы эффективности функционирования существующих транспортных коридоров. Описаны основные подходы к реализации новых международных транспортных коридоров в условиях санкционных ограничений.

Ключевые слова: вызовы, угрозы, риски, инфраструктура международного транспортного коридора, экономическая безопасность

Для цитирования: Земсков В. В. Влияние международных транспортных коридоров на обеспечение экономической безопасности страны // Научный информационный сборник. Транспорт: наука, техника, управление. 2024. № 9. С. 8-16. DOI: 10.36535/0236-1914-2024-09-2.

LOGISTICS

Scientific article

INTERNATIONAL TRANSPORT CORRIDORS THAT AFFECT THE COUNTRY'S ECONOMIC SECURITY

Vladimir V. Zemskov

(Financial University under the Government of the Russian Federation)

VVZemskov@fa.ru

Abstract. The article discusses the issues of the effectiveness of the functioning of existing transport corridors. The main approaches to the implementation of new international transport corridors in the context of sanctions restrictions are described.

Keywords: challenges, threats, risks, infrastructure of the international transport corridor, economic security

For citation: Zemskov V. V. The influence of international transport corridors on ensuring the economic security of the country // Scientific Information Collection. Transport: science, technology, management. 2024. N. 9. P. 8-16. DOI: 10.36535/0236-1914-2024-09-2.

Введение

С началом специальной военной операции на Украине, а также агрессивным поведением европейского союза по блокировке экспортно-импортных операций нашей страны, ограничением ввоза высокотехнологичного оборудования, Россия направила все свои усилия на преодоление возникших глобальных проблем, а также предложила дружественным странам совместные проекты по международному сотрудничеству. В этих условиях назрела объективная необходимость поиска и налаживания новых транспортных и логических цепочек между производителями и покупателями, Востоком и Азией, Севером и Югом. В настоящее время государственная политика в области пространственного развития страны включает формирование международного транспортного коридора (МТК) «Север–Юг» и Северный морской транзитный коридор (СМТК), позволяющие диверсифицировать грузовые перевозки с европейской части на восточную.

Задачи исследования

При подготовке исследования применялись следующие методы: анализ, обобщение, критический анализ, контент-анализ, сравнительный анализ, табличный, графический, метод прогнозирования.

Для достижения результатов исследований, были поставлены следующие задачи:

изучить теоретические основы по теме исследования;

проводить сравнительный анализ эффективности существующих международных транспортных коридоров;

оценить современные вызовы, угрозы и риски, возникающие при реализации международных транспортных коридоров с учетом санкционных влияний.

Исследования

Исторически из-за протяженности территории, транспортные маршруты и стоимость перевозки грузов, всегда оказывали влияние на формирование провозных тарифов. Поэтому государство всегда субсидировало

грузовые перевозки в районы Крайнего Севера и Дальнего Востока, т.к. от своевременной доставки необходимых грузов зависели процессы жизнедеятельности хозяйствующих субъектов и населения.

Ранее эту функцию выполняли существующие железнодорожный транспорт, морской транспорт, авиаперевозки, но с учетом пересмотра стратегии развития транспортной системы из-за наличия глобальных проблем со стороны недружественных стран, связанных с

блокировкой существующих логистических цепочек, руководство страны приняло правильное решение об организации новых транспортных коридоров между Россией и Азией с привлечением приграничных стран.

Но для начала надо проанализировать объемы падения грузооборота из-за введения экономической агрессии со стороны коллективного запада, которые представлены на рис.1.

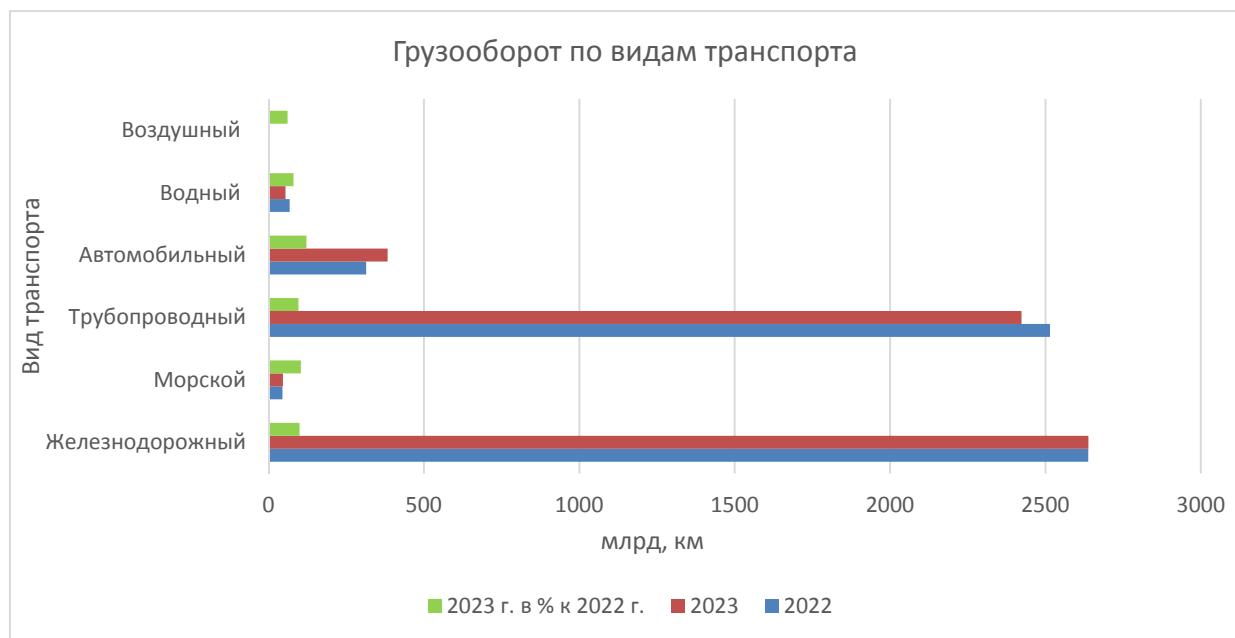


Рис.1. Грузооборот по видам транспорта

Источник: составлено автором на основании [4]

Как видно из рис.1, в связи с переориентацией грузооборота с Европы на Восток, основные показатели транспортной отрасли не претерпели существенных изменений. Так, общий грузооборот в 2023 году по сравнению с 2022 годом снизился всего на 0,6%. Но вместе с тем по таким видам транспорта, как железнодорожный, автомобильный и морской, общий грузооборот увеличился несмотря на санкционные ограничения, что свидетельствует о практической востребованности данных видов транспорта для глобальной экономики. Если проанализировать данные о снижении показателя грузооборота в разрезе водного, воздушного и трубопроводного, то обнаружим, что на воздушном транспорте произошло значительное снижение (39%), но доля этого вида транспорта в общем объеме грузооборота составляет всего 0,03%, что для экономики России носит несущественный характер.

Водный транспорт в основном ориентирован на внутрироссийские перевозки. Падение объемов грузооборота водного транспорта связаны, во-первых, наличием нерешенных проблем в инфраструктуре водного транспорта (сокращение протяженности водных путей с гарантированными габаритами судовых ходов, высокий уровень износа судов), во-вторых, низкая конкурентоспособность водного транспорта по сравнению с другими видами.

Переориентация грузооборота с Европы на Восток, позволила формировать новые транспортные коридоры, которые обеспечивают движение грузопотока с Запада

на Восток и обратно, что свидетельствует о востребованности данных коридоров для эффективного развития экономик стран-участниц.

Итак, можем отметить, что в контексте данного исследования, под «международным транспортным коридором» (МТК) понимаются грузовые и пассажирские перевозки, осуществляемые между различными странами, по определенному маршруту на основе международного транзита.

В настоящее время Россия усиленно участвует в формировании международного транспортного коридора. Поэтому в нормативно-правовых документах страны можно найти официальное определение МТК: «Международный транспортный коридор – совокупность маршрутов, проходящих по территориям государств и обеспечивающих перевозки пассажиров и грузов в международном сообщении на направлениях их наибольшей концентрации, а также совокупность технологических и организационно-правовых условий осуществления этих перевозок»¹.

Международные транспортные коридоры, формируемые на территории России, представлены в табл.1.

¹ Распоряжение Правительства Российской Федерации № 3363-р от 27.11.2021 «Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года». <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/403056321/> (дата обращения 13.04.2024).

Международные транспортные коридоры России

Наименование коридора	Начало коридора	Конец коридора	Участники	Общая длина, км	Виды транспорта
Евроазиатские коридоры					
Транссиб	Москва	Владивосток	Россия	9 288	Ж/д
«Север-Юг»	Санкт-Петербург	Мумбай	Россия Иран, Индия, Беларусь, Азербайджан, Армения, Казахстан, Оман, Сирия	7 200	Ж/д, Автомобильный, Водный
СМТК	Мурманск	Владивосток	Россия	10 503	Водный
СМП	Карские Ворота	Бухта Провидения	Россия	5 600	Водный
Коридоры «Приморья»					
Приморье -1	Харбин	Порты АТР	Россия, Китай	500	Ж/д, Автомобильный, Водный
Приморье -2	Хуньчунь	Порты АТР	Россия, Китай	360	Ж/д, Автомобильный, Водный

Источник: составлено автором на основании [5]

Транссибирская магистраль

Транссибирская магистраль, включая Байкало-Амурскую магистраль (БАМ) является самой длинной железной дорогой в мире, ее длина около 9 300 км. Она соединяет европейскую и восточную части России, что благоворительно влияет на пространственное развитие страны, внося свой вклад в обеспечении транспортной доступности регионов.

По данным РЖД, «в 2022 году общий объем грузоперевозок по Восточному полигону составил 148,8 млн.тонн, в 2023 год – 160 млн.тонн., а провозные возможности составят до 173 млн.тонн»².

По итогам работы за 2022 год по Транссибу отправлено свыше 1 млрд 135,8 млн пассажиров (+7,8% к 2021 году), из них в пригородном сообщении – 1 млрд 27,4 млн пассажиров (+6,8%), в дальнем следовании – более 108,3 млн пассажиров (+17,8%)³.

Ранее Счетная Палата России в своих отчетах отмечала, что РЖД незаконно наживалась за счет бюджетных средств, выделенных из Фонда национального благосостояния, в виде получения доходов за счет размещения авансовых бюджетных средств на депозиты, которые должны были быть направлены на финансирование Транссиба и транспортных магистралей. Критика Счетной Палаты РФ в адрес РЖД пошла на пользу.

Транссиб, построенный более сто лет назад, не справляется с возросшими грузопотоками, интенсивность движения поездов в среднем составляет от 5 до 8 минут, и как следствие, с разработкой новых месторождений нефти, газа, угля, меди еще дополнительно увеличиться нагрузка на железную дорогу. Поэтому было принято решение о модернизации инфраструктуры Транссиба.

В настоящее время продолжается усиленная модернизация Транссиба и БАМа в рамках реализации национальных проектов. Так, планом предусмотрено «финансирование работ в 2023 году в размере 174 887,5 млн.руб., факт 174 304,3 млн.руб., % выполнения 99,7%⁴».

По мнению многих экспертов, модернизация инфраструктуры Транссиба на основе 50 инвестиционных проектов, обеспечит прирост валового внутреннего продукта на 3%, что положительно скажется на качестве и уровне жизни населения.

МТК «Север-Юг»

Транспортной составляющей международного коридора «Север-Юг» являются такие виды транспорта, как железнодорожный, автомобильный и водный, и объединение их в один логистический узел позволяет получить максимальный синергетический эффект в социально-экономическом развитии регионов.

В настоящее время по МТК «Север-Юг» в сторону стран АТР перевозится зерно, удобрение, энергоносители, нефть, лесные и строительные материалы.

На федеральном уровне принято стратегическое решение о формировании Каспийского кластера с особыми экономическими зонами, который находится в Астраханской области. Так, промышленно-производственный кластер «Лотос» реализует стратегию развития судостроительной отрасли на базе Южного центра, где в 2024 году уже заложены два специфических контейнеровоза для работы в Каспийском море, т.к. глубина Каспийского моря достаточно мелкая. В настоящее время порт Оля приобретает для России важное значение, которое заключается в том, что после модернизации инфраструктуры мощность порта составит 5,6 млн.тонн грузов, что положительно повлияет на социально-экономическое развитие южных регионов России.

² Итоги работы ОАО «РЖД» в 2022 году превзошли ожидания. https://gudok.ru/news/util_avto/?ID=1627323 (дата обращения 13.04.2024).

³ Там же.

⁴ Транспорт России информационно-статистический бюллетень 2023 год. <https://mintrans.gov.ru/documents/7/13259> (дата обращения 13.04.2024).

В настоящее время МТК «Север-Юг» состоит из трех ответвлений, основные характеристики которых представлены в табл.2.

Таблица 2

Расстояние между ветвями МТК «Север-Юг»

Название маршрута	Начало маршрута	Конец маршрута	Расстояние, км
Транскаспийский	Санкт-Петербург	Бендер-Аббас	4 900
Западный	Санкт-Петербург	Бендер-Аббас	5 100
Восточный	Санкт-Петербург	Бендер-Аббас	6 200

Источник: составлено автором на основании [7]

Наиболее перспективным направлением является Транскаспийский коридор.

По мнению автора, на эффективность развития МТК «Север-Юг» важную роль играют суммарные перевалочные мощности российских морских портов и портов Ирана, представленные в табл.3.

Таблица 3

Суммарные перевалочные мощности российских морских портов и портов Ирана, млн.тонн

Россия		Иран	
Наименование порта	Мощности по перевалке	Наименование порта	Мощности по перевалке
Астрахань	2,5	Амирабад	5,5
Оля	0,5	Энзели	4,0
Махачкала	3,0	Ноушехр	1,5
		Торкемен	1,1
Итого	6,0	-	12,1

Источник: составлено автором на основании [7]

Как видно из табл.3, на лицо узкие места в эффективной деятельности МТК «Север-Юг» на территории России, которые негативно влияют на увеличение грузопотока между странами. Это является вызовом для экономики России. Но с учетом заявления Президента РФ Путина В.В. на Петербургском международном экономическом форуме (ПМЭФ-2023) относительно модернизации транспортного коридора в целях увеличения мощности перевалок, выявленные вызовы и узкие места или риск-факторы должны быть сведены к минимуму.

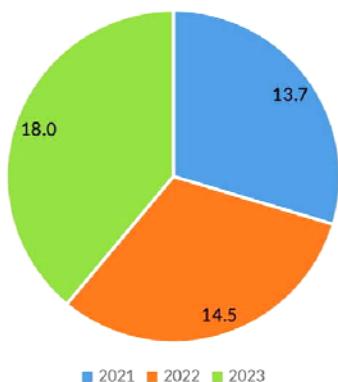
Объем грузовых перевозок по МТК "Север-ЮГ, млн. тонн

Рис.2. Объем грузовых перевозок по МТК «Север-Юг»

Востребованность МТК «Север-Юг» для экономики России характеризуется объемами грузоперевозок. В 2023 году по сравнению с 2021 годом объем грузовых перевозок увеличился с 13,7 млн. тонн до 18,0 млн.тонн или на 31%. (рис.2.).

Преимущества МТК «Север-Юг» для экономики России:

- социально-экономическое развитие прилегающих регионов (Астраханская область, Дагестан);
- снижение выбросов углекислого газа;
- развитие сферы туризма;
- «инвестиции в инфраструктурные проекты в объеме 13,2 млрд.долл. США, в том числе модернизация существующих железных дорог, автомобильных дорог, портов Махачкалы и объездных путей вокруг Дербента».

Выявлены угрозы и риски реализации МТК «Север-Юг»:

- «из-за неразвитости портовой инфраструктуры России сроки доставки грузов из Индии увеличились до 60 дней; цена за 20-футовый контейнер (TEU) увеличилась в 2 раза до 7000 долл.США»⁵;

- низкая пропускная способность Волго-Донского канала из-за загрязнения песком и илом. При этом реконструкция канала запланирована лишь на 2027 год;

- низкий уровень транспортного сервиса в Азербайджане и Иране и т.д.

Как видим, при наличии колоссальных возможностей для социально-экономического развития страны, имеются нерешенные проблемы, тормозящие это развитие, а следовательно, и на обеспечение экономической безопасности в части самодостаточности источников развития.

Как отметили эксперты газеты «Ведомости», «при организации МТК «Север-Юг» декларировалось о сокращении сроков доставки грузов по сравнению с Сuezским каналом на 21 день, однако по состоянию на 2023 год сроки доставки грузов МТК «Север-Юг» увеличились на 36 дней, что в тактическом плане снижает конкурентоспособность данного коридора по сравнению с Сuezским каналом»⁶.

Основным способом ликвидации узких мест МТК «Север-Юг» является инфраструктурная перестройка всех составляющих данного коридора: железнодорожного, автомобильного транспорта и водного транспорта.

В реализации инфраструктурных проектов МТК «Север-Юг» должны сыграть и частные инвестиции. Это вытекает из выступления Президента России Путина В.В. на съезде Российского союза промышленников и предпринимателей (РСПП) 16 марта 2024 г.

Северный морской транзитный коридор (СМТК)

По инициативе Росатом, Концепция развития СМТК возникла в 2019 году, который проходит через Северный морской путь (СМП) и обеспечивающий доступ к запасам полезных ископаемых Арктической зоны. По экспертным оценкам, «в Арктической зоне содержится около трети всех мировых запасов природного газа и до 13% нефти, обнаружены запасы платины, золота, никеля, угля и др. полезных ископаемых» [8].

⁵ Коридор «Север-Юг» не справляется с возросшим грузопотоком. <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2023/03/28/968353-koridor-sever-yug-ne-spravlyaetsya-s-vozrosshim-gruzopotokom> (дата обращения 20.04.2024).

⁶ Там же.

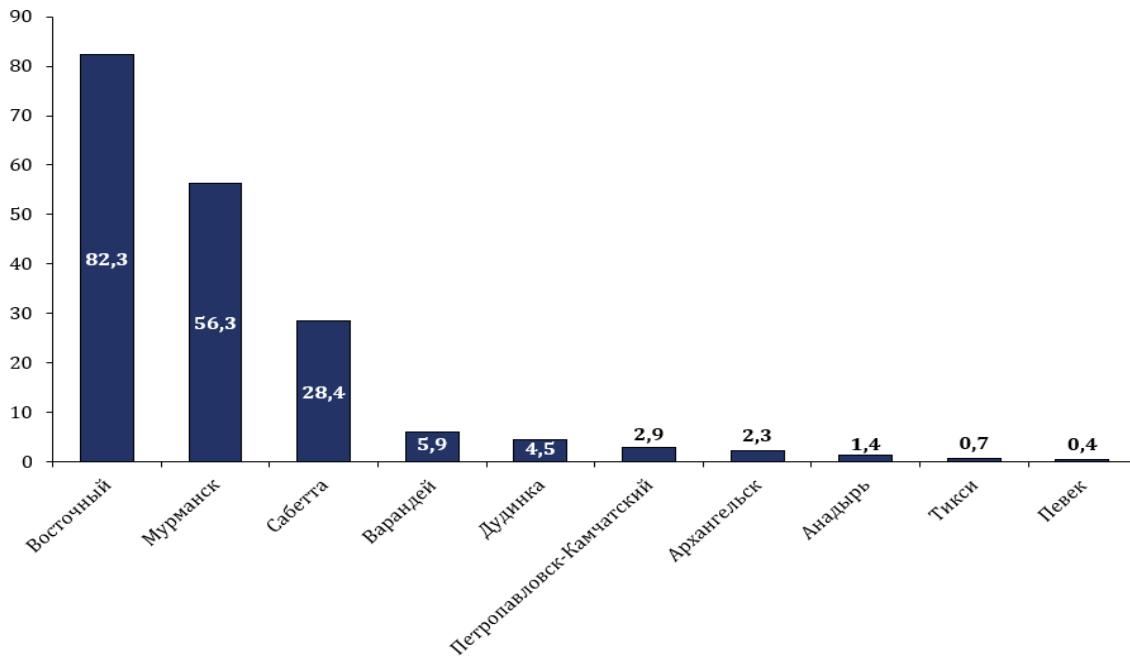


Рис. 3. Грузооборот основных морских портов СМТК в 2022 г, млн тонн [7]

По поручению Президента РФ Путина В.В. предложения по интеграции СМТК в Северный морской путь должны быть представлены к 01 апреля 2024 года⁷.

На рис.3 представлены основные порты СМТК и их грузооборот за 2022 год.

Как видно из рис.3, основными морскими портами СМТК являются Восточный и Мурманск, с объемами грузооборота 82,3 млн.тонн и 56,3 млн.тонн.

Порт Восточный является конечной точкой Транссибирской железнодорожной магистрали через линию Угловая-Находка. Основными преимуществами порта являются:

- круглогодичная навигация;
- современное высокопроизводительное оборудование для перевалки грузов;
- наличие крытых складов, что обеспечивает накопление и хранение грузов.

В настоящее время ведется строительство дополнительных причалов порта и после реализации всех инвестиционных проектов пропускная способность порта превысит 100 млн. тонн в год.

В условиях экономической агрессии стран коллективного запада, морской порт Мурманск приобретает важное стратегическое значение для СМТК и СМП, из-за плачевного состояния портового хозяйства, был национализирован и передан Федеральному агентству по рыболовству. В настоящее время идет реализация пяти инвестиционных инфраструктурных проектов по маршруту Мурманск-Владивосток, что в дальнейшем повысит эффективность хозяйственной деятельности.

Несомненно, на третьем месте по грузообороту занимает морской порт Сабетта с объемом 28,4 млн.тонн. Он в основном обслуживает перевалку грузов сжиженного природного газа (СПГ), и как следствие, обеспечивает развитие транспортной системы Ямала и близлежащих регионов [9]. В настоящее время проводится модернизация морского порта, автомобильной дороги,

строительство железной дороги Бованенково-Сабетта. После модернизации порта мощность СПГ составит 19,8 млн.тонн и мощность стабильного газового конденсата 1,8 млн т в год с Салмановского нефтегазоконденсатного месторождения.

Нефтеналивной порт Варандей является самым северным круглогодично действующим нефтяным терминалом в мире, принадлежит российской компании «Лукойл», проектная мощность составляет 12 млн тонн в год.

Основу грузооборота порта Варандей составляет сырая нефть, добываемая российской компанией «Лукойл», проектная мощность порта составляет 12 млн тонн. Как видно из рис.1, в 2022 году грузооборот составил всего 5,9 млн.тонн, что свидетельствует о недостаточно эффективном его использовании.

Порт Дудинка принадлежит российской компании «Норникель», распоряжением властей Дудинка и Норильск объединены в одну агломерацию, что по мнению властей, обеспечит устойчивое развитие регионов на основе единого плана, повысит качество и уровень жизни населения. В настоящее время осуществляется модернизация порта Дудинка, освоено инвестиций на 40 млрд.руб.[10].

В настоящее время Петропавловск-Камчатский включен в инфраструктуру СМТК. До его включения в данную структуру, наблюдалась печальная картина:

- высокая доля износа объектов инфраструктуры (жилья, производственных объектов);

- пространственное развитие не соответствует современным требованиям (объекты пространства плохо взаимосвязаны между собой, низкий уровень транспортной доступности);

- отток трудоспособного населения из региона. Камчатстат отмечает, что «имеется тенденция снижения качества трудовых ресурсов: среди уезжающих доля лиц, имеющих высшее и неполное высшее образование, выше, чем среди прибывших (32,4% против 24,6%)»⁸.

⁷ Северный морской транспортный коридор свяжет порты СЗФО и ДФО. <https://rg.ru/2023/11/28/reg-szfo/severnyj-morskoj-transportnyj-koridor-sviazhet-porty-szfo-i-dfo.html> (дата обращения 13.04.2024).

⁸ «Кам 24» <https://kam24.ru/news/main/20190603/68702.htm#4G7MIT40.dpuf> (дата обращения 13.04.2024).

В целях перелома негативной ситуации, разработан долгосрочный план комплексного социально-экономического развития Петропавловска-Камчатского до 2030-го и содержит конкретные мероприятия по улучшению ситуации. Планом предусматривается реконструкция системы водоотведения и водоснабжения, очистных сооружений, развитие автомобильных дорог с твердым покрытием. Модернизация инфраструктуры порта планируется завершить к концу 2024 года, что повысит состояние экономической безопасности страны.

В 2023 году было утвержден комплексный план развития Архангельского транспортного узла до 2035 года⁹, в нем предусмотрено реализация 32-х мероприятий с проектной мощностью 25 млн.тонн. перевалки грузов.

Также планируется «ввод в эксплуатацию современного железнодорожного терминала с площадкой для выгрузки и хранения грузов и склад-платформой с подъездными железнодорожными путями, рассчитанный на перевалку 200 тыс.тонн грузов в год» [11].

В целях эффективного развития СМТК акватории морского порта Анадырь были расширены за счет присоединения к нему территорий портов Беринговский, Эгвекинот, Провидения, что позволило сформировать самый большой морской порт. Все это положительно повлияло на хозяйственную деятельность. Так, в 2023 году общий грузооборот морского порта Анадырь составил 1, 67 млн.тонн против 1,38 млн тонн в 2022 году или увеличение составило на 21%.

В морском порту Тикси в 2022 году по сравнению с 2021 годом грузооборот увеличился с 420 тыс. тонн до 670 тыс.тонн или на 59%. Это хороший показатель для старта в составе СМТК. Кроме того, планируется реализация инвестиционного проекта по строительству глубоководного порта-хаба в районе села Найба с мощностью 30 млн. тонн грузов.

Морской порт Певек обеспечивает жизнедеятельность Чукотки, где отсутствует современная транспортная инфраструктура (железнодорожный и автомобильный транспорт). Как известно, с 2019 года в порту Певек базируется первая в мире плавучая атомная теплоэлектростанция (ПАТЭС) «Академик Ломоносов», которая вырабатывает электроэнергию для промышленной зоны и населению.

В 2023 году по сравнению с 2022 годом грузооборот увеличился с 383 тыс.тонн до 519 тыс.тонн или на 35%. В настоящее время идет реконструкция морского порта, и после завершения мощность порта составит 800 тыс.тонн грузов, что подтверждает востребованность грузоперевозок СМТК и СМП.

Как отметил член научного совета при Совете безопасности РФ, директор и совладелец консультационной компании «Гекон» Михаил Григорьев, «Северный морской путь - это акватория, а СМТК - логистическая сис-

тема»¹⁰. В акваторию СМП входит шесть морских портов - Сабетта, Диксон, Дудинка, Хатанга, Тикси и Певек.

Несомненно, реализация всех предусмотренных инвестиционными проектами мероприятий, позволит добиться поставленных целей по комплексному социально-экономическому развитию Арктической зоны, а также снижение затрат на перевозку грузов в страны Азиатско-Тихоокеанского региона, что напрямую влияет на обеспечение экономической безопасности страны.

СМП

СМП для экономики России является важнейшей акваторией, обеспечивающей своевременную доставку грузов конечным потребителям. На рис.4 представлена динамика грузовых перевозок по СМП.

Как видно из рис.4, наблюдается положительная динамика объема грузоперевозок по СМП за счет транспортировки нефти газового конденсата. В 2022 году по сравнению с 2018 годом объем грузоперевозок увеличился с 19,7 млн.тонн до 34,0 млн.тонн или на 73%. В 2023 году объем грузоперевозок должен составить в размере 36,0 млн.тонн.

Хотелось бы обратить на одну существенную особенность направления движений грузопотоков, которая в стратегической перспективе сыграет экономикой России негативную роль. Это зависимость экономики России в контексте импортозамещения от Китая. Многие эксперты уже отмечают эту неприятную тенденцию (академик Глазьев С.Ю., мэр Москвы Собянин С.С. и др.). Например, Собянин С.С., уже официально заявил о том, что Китай ведет экономическую войну против России, Глазьев С.С. отметил, что структура экспорта не отвечает национальным интересам России. На рис.5 представлена структура направления движений грузопотоков между Россией и Китаем. Так, доля экспорта природных ресурсов из России в Китай составила 93,1%, а из Китая в Россию – 2,1% (причем рентабельность поставки находится на самом низком уровне из-за предоставления большого размера дисконта). Это означает, что мы ушли от одной европейской зависимости, но попали в китайскую зависимость. В качестве примера можно привести процесс импортозамещения в автомобильной промышленности: Китай в Россию поставляет отдельные крупные автомобильные узлы без локализации своего производства на территории России, т.е. наша страна помогает экономике Китая развиваться, что не отвечает национальным интересам страны.

Какие риски экономической безопасности России существуют? Это:

- экономический шантаж со стороны Китая;
- отсутствие экономического стимула для развития экономики России;
- отсутствие перспектив строительства газопровода «Сила Сибири – 2».

⁹ Распоряжение Правительства РФ от 22 сентября 2023 г. № 2555-р. <http://static.government.ru/media/files/AGnbnoSG6CVR6ECeirsalr5tpObBHVbO.pdf>(дата обращения 17.04.2024).

¹⁰ Северный морской транспортный коридор свяжет порты СЗФО и ДФО. <https://rg.ru/2023/11/28/reg-szfo/severnyj-morskoy-transportnyj-koridor-sviazhet-porty-szfo-i-dfo.html>(дата обращения 13.04.2024).

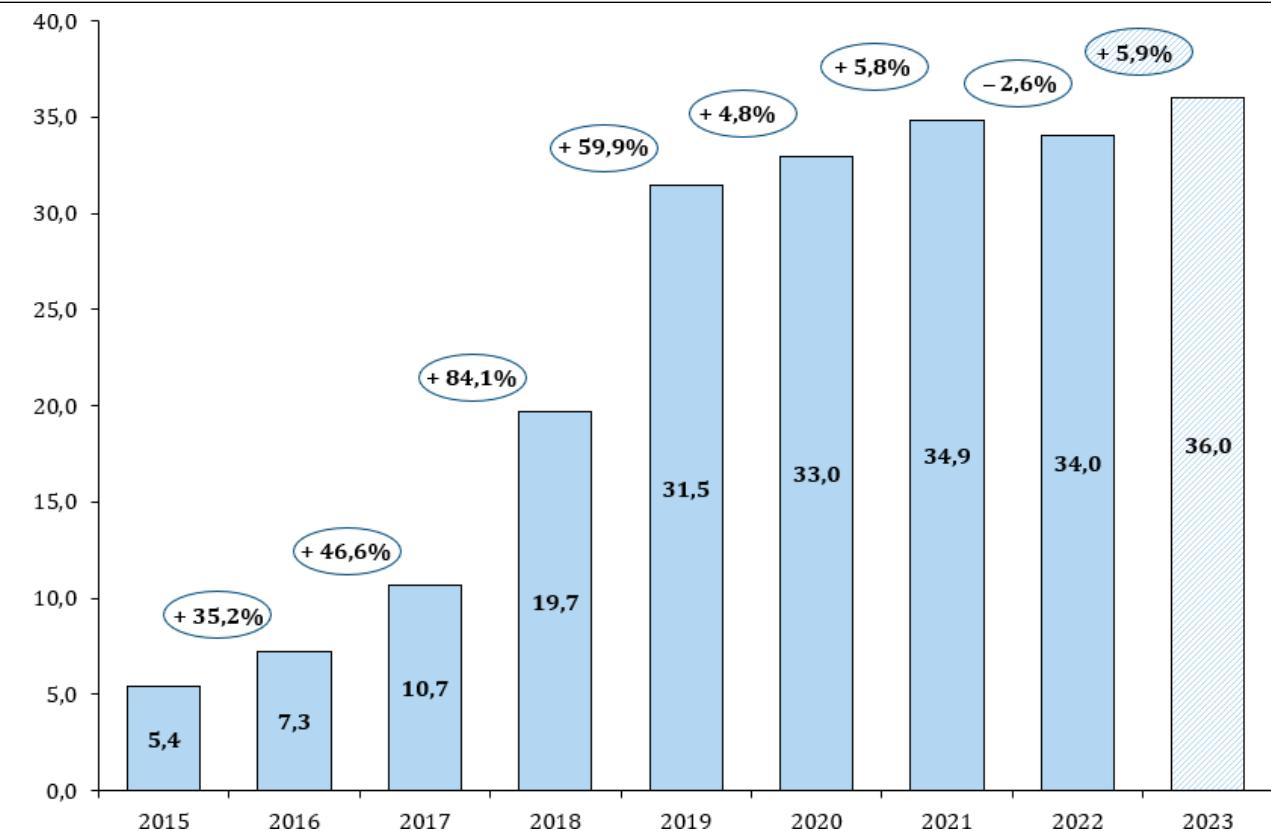


Рис. 4. Объем грузоперевозок по СМП, млн тонн [7]

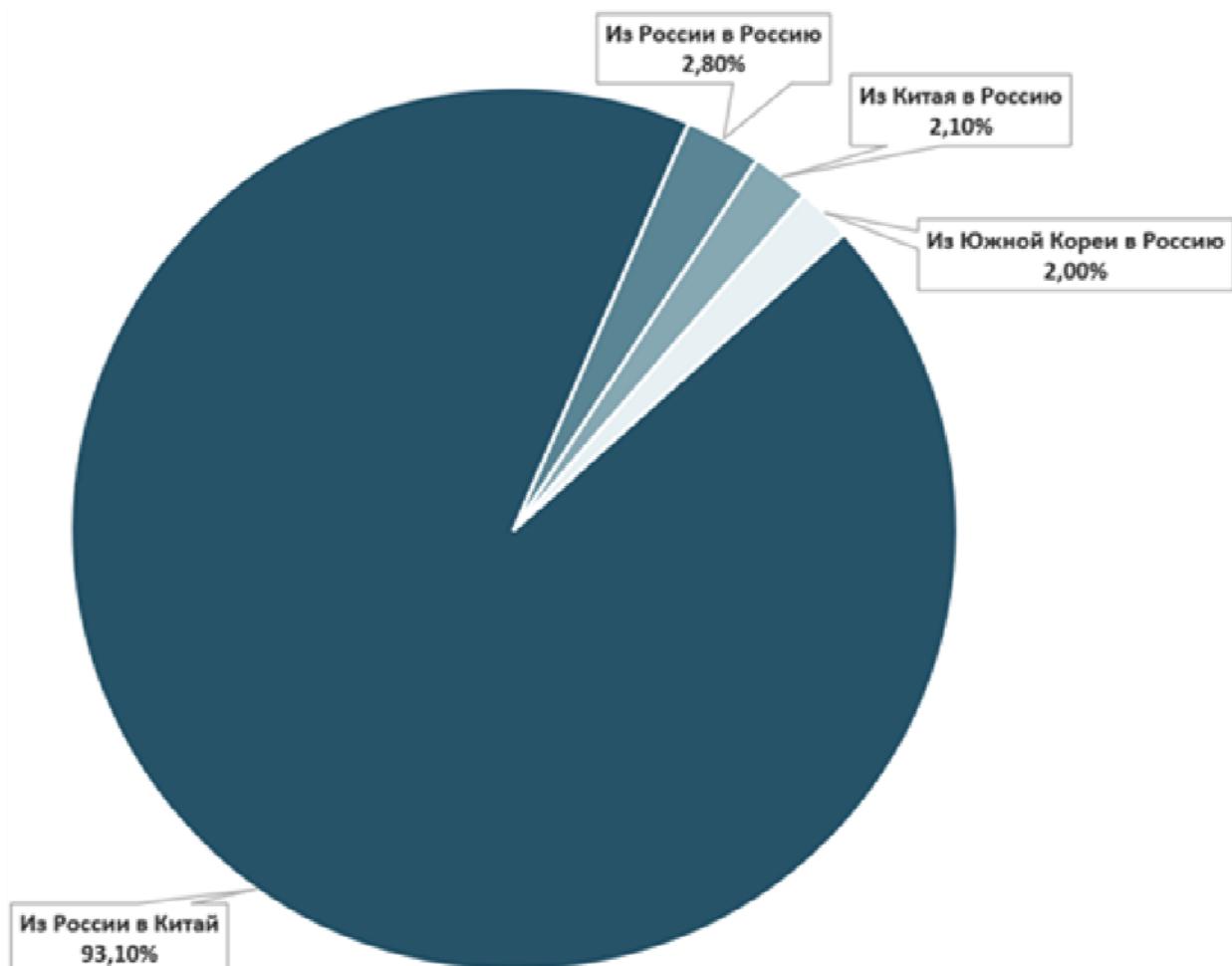


Рис. 5. Структура направления движений грузопотоков между Россией и Китаем

Коридоры Приморье -1 Приморье -2

МТК «Приморье-1» и «Приморье-2» соединяют территорию Китая:

Харбин — Гродеково — Владивосток / Находка / Восточный — порты АТР - МТК «Приморье-1»;

Хуньчунь — Краскино — Посыт/Зарубино — порты АТР - МТК «Приморье-2». На рис.6 представлены маршруты МТК «Приморье-1» и «Приморье-2».

Основная транспортная магистраль – это автомобильная дорога Владивосток – Находка – порт Восточный, протяженность дороги 146 км, является ключевым объектом международного транспортного коридора «Приморье-1». Она должна стать важной транспортной артерией юга Приморья и всего Дальнего Востока.



Рис.6. Маршруты МТК «Приморье-1» и «Приморье-2»

По данным Министерства РФ по развитию Дальнего Востока и Арктики¹¹, объем грузопотока по МТК «Приморье-1» и «Приморье-2» оценивается в 45 млн тонн зерновых и контейнерных грузов к 2030 году (23 млн тонн зерновых и 22 млн тонн контейнерных грузов, 1,8 млн TEU – контейнеров в 20-футовом эквиваленте).

По результатам данного исследования выявлены основные угрозы и риски, сдерживающие грузооборот между Россией и Китаем:

отсутствие достаточного объема финансирования для модернизации инфраструктуры;

существующая инфраструктура изношена и не отвечает потребностям логистики;

ограничения в развитии дорожной инфраструктуры; наличия политического фактора. С началом СВО на Украине китайские партнеры относятся сдержанно к участию России в реализации проекта «Шелковый путь». Поэтому, по мнению автора, до полного завершения СВО на Украине, положительные сдвиги в реализации МТК «Приморье-1» и «Приморье-2» не предусматриваются.

По мнению Минвостокразвития, если сравнивать между собой характеристики МТК «Приморье-1» и

«Приморье-2», то у последнего преимуществами являются:

длина логистического плеча от порта Зарубино до Хуньчуня составляет всего 80 км, что позволяет уменьшить провозной тариф;

возможность развивать инфраструктуру Дальневосточного федерального округа за счет перенаправления грузов с коридора «Приморье-1».

Важную роль в развитии международных транспортных коридоров играют процессы реализации Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года, где предусмотрены три сценария развития:

инерционный вариант – общий объем перевозок составит в размере 17,9 млрд тонн;

энерго-сырьевая вариант - 18,2 млрд тонн;

инновационный вариант - 20,7 млрд тонн.

Заключение

Экономическая агрессия, проводимая коллективным западом в отношении России, позволила выявить внутренние финансовые источники самодостаточности для социально-экономического развития регионов и страны в целом.

Представляется, что основой решения всех этих проблем выступают международные транспортные коридоры, согласованные с дружественными странами в азиатском регионе. К ним можно отнести, прежде всего, Китай, Индия, Казахстан, Узбекистан, Иран, Оман, Сирия и другие страны.

¹¹ Почему Приморье не пошло по Шелковому пути. <https://www.rzd-partner.ru/logistics/comments/pochemu-primore-ne-poshlo-po-shelkovomu-puti/> (дата обращения 19.04.2024).

В результате проведенного исследования установлено, что успех в реализации международных транспортных коридоров зависит, прежде всего, от волеизъявления участующих сторон: согласование сроков начала и окончания модернизации инфраструктуры, достаточные объемы финансирования и т.п.

Наибольший вклад в обеспечение экономической безопасности страны вносят такие международные коридоры, как Транссибирская магистраль, СМТК, СМП, «Север-Юг». Это объясняется тем фактом, что проводится усиленная модернизация инфраструктуры регионов Арктической зоны России в целях самодостаточности источников ресурсов, необходимых для социально-экономического развития.

Особую тревогу вызывает структура экспорта в дружественные страны. В результате исследования выявлено, что в структуре экспорта в основном находятся углеводороды и природные ресурсы (каменный уголь), что, по мнению автора, не обеспечивает технологический суверенитет страны из-за блокировки со стороны коллективного запада поставки высокотехнологичного оборудования, необходимого для модернизации существующих месторождений и производств.

На сегодняшний день угрозами и рисками для международных транспортных коридоров являются не решенные проблемы в функционировании МТК «Приморье-1» и «Приморье-2». Выявлены основные угрозы и риски, сдерживающие грузооборот между Россией и Китаем.

© Земсков В. В., 2024.

Список источников

1. Тархов С.А. Транспортная освоенность территории. Вестник Московского университета. Серия 5. География, 2018, №2, с. 3–9.
2. Селиверстов С.А. Разработка показателей транспортной обеспеченности. Известия Петербургского университета путей сообщения, 2015, № 4, с. 48–63.
3. Транспортная система мира / под ред. С.С. Ушакова, Л.И. Васильевского. М.: Издательство Транспорт, 1971, 216 с.
4. Транспорт России информационно-статистический бюллетень 2023 год. <https://mintrans.gov.ru/documents/7/13259> (дата обращения 13.04.2024).
5. Аналитический доклад. Институт проблем естественных монополий. Путь на Восток: развитие евразийских транспортных коридоров.
6. Федулов И.В. Международный транспортный коридор «Север - Юг» в новых geopolитических условиях: современное состояние и перспективы //Восточная аналитика. 2023;14(3):81-97. <https://doi.org/10.31696/2227-5568-2023-03-81-97>.
7. «Морские вести России». Ассоциация морских торговых портов. <https://morvesti.ru/> (дата обращения 13.04.2024).
8. Земсков В.В., Прасолов В.И., Худяков Д.С., Кашина А.И., Тимофеев Е.А. Оценка вклада Арктической зоны в экономическое развитие страны// Финансы: теория и практика, 2022, Том 26, № 2, С.160-174.
9. Синицына А. Порт Сабетта – инфраструктурный проект российской Арктики. http://www.logistika-prim.ru/sites/default/files/log_0317_s20-24.pdf (дата обращения 17.04.2024).

10. Барчугова Е.В. Реновация арктического субцентра на примере г. Дудинка / Е.В. Барчугова, С.Т. Габитов // Architecture and Modern Information Technologies. 2022. № 2(59). С. 111–128. DOI: 10.24412/1998-4839-2022-2-111-128.

11. Пестова В.О. Развитие Архангельского транспортного узла. Ближайшие планы и перспективы // Артика 2035, № 4(16), 2023. С.26-34.

References

1. Tarkhov S.A. Transport development of the territory. Bulletin of the Moscow University. Series 5. Geography, 2018, No.2, pp. 3-9.
2. Seliverstov S.A. Development of indicators of transport security. Proceedings of the St. Petersburg University of Railway Engineering, 2015, No. 4, pp. 48-63.
3. The transport system of the world / edited by S.S. Ushakov, L.I. Vasilevsky. M.: Publishing House Transport, 1971, 216 p.
4. Transport of Russia information and statistical bulletin 2023. <https://mintrans.gov.ru/documents/7/13259> (accessed 04/13/2024).
5. Analytical report. Institute of Problems of Natural Monopolies. The Way to the East: the development of Eurasian transport corridors.
6. Fedulov I.V. International transport corridor "North - South" in new geopolitical conditions: current state and prospects //Oriental analytics. 2023;14(3):81-97. <https://doi.org/10.31696/2227-5568-2023-03-81-97>.
7. "Sea news of Russia". Association of Commercial Seaports. <https://morvesti.ru/> (accessed 04/13/2024).
8. Zemskov V.V., Prasolov V.I., Khudyakov D.S., Kanashina A.I., Timofeev E.A. Assessment of the contribution of the Arctic zone to the economic development of the country// Finance: theory and practice, 2022, Volume 26, No. 2, pp.160-174.
9. Sinityna A. Sabetta Port is an infrastructure project of the Russian Arctic. http://www.logistika-prim.ru/sites/default/files/log_0317_s20-24.pdf (accessed 04/17/2024).
10. Barchugova E.V. Renovation of the Arctic subcenter on the example of Dudinka / E.V. Barchugova, S.T. Gabitov // Architecture and Modern Information Technologies. 2022. No. 2(59). pp. 111-128. DOI: 10.24412/1998-4839-2022-2-111-128.
11. Pestova V.O. Development of the Arkhangelsk transport hub. Immediate plans and prospects // Article 2035, № 4(16), 2023. Pp.26-34.

Информация об авторах

Земсков Владимир Васильевич - доктор экономических наук, профессор кафедры «Экономическая безопасность и управление рисками», Финансовый университет, Москва.

Information about the author

Vladimir V. Zemskov - Doctor (Econ.), Professor, Department «Economic security and risk management», Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow.

Статья поступила в редакцию 24.04.2024, одобрена после рецензирования 30.05.2024, принята к публикации 28.06.2024.

The article was submitted 24.04.2024, approved after reviewing 30.05.2024, accepted for publication 28.06.2024.

ЛОГИСТИКА

Научная статья

УДК (UDC) 656.072

DOI: 10.36535/0236-1914-2024-09-3

ОРГАНИЗАЦИЯ ПАССАЖИРСКИХ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Больт Алина Сергеевна

ORCID: orcid.org/0009-0002-3513-2022, bolt.alina2015@yandex.ru

Больт Полина Сергеевна

ORCID: orcid.org/0009-0009-4273-1286, bolt.polina2018@yandex.ru

Власова Арюса Витальевна

ORCID: orcid.org/0000-0002-7659-375X, a.vlasova@mstuca.aero

(Московский государственный технический университет гражданской авиации)

Аннотация. Описаны результаты анализа имеющихся пассажирских мультимодальных перевозок. Ограничение воздушного пространства и санкции воздействуют на авиаперевозки как внутри страны, так и за ее пределами. Развитие мультимодальных перевозок является перспективным решением для компенсации ограничений в авиации. Определены проблемы перемещения пассажиров, как в пределах Российской Федерации, так и за рубежом, выделены виды пассажирского транспорта, которые играют ключевую роль в пассажирских мультимодальных перевозках. В данной работе объясняется понятие транспортной доступности как ключевого показателя оценки доступности транспортной инфраструктуры для населения. Предложены и построены новые мультимодальные маршруты, в которых использованы другие виды транспорта с учетом имеющейся инфраструктуры, на территории России и стран Европы с применением единого билета, выявлены наиболее популярные направления пассажиров. Применяя мультимодальные перевозки, пассажир сможет добраться в те места, где транспортная инфраструктура ограничена или отсутствуют пути сообщения. Также использование мультимодальных перевозок на дальние расстояния позволит снизить издержки как пассажирам, так и агентам-организациям, предоставляющим данную перевозку.

Ключевые слова: мультимодальные перевозки, транспортная доступность, транспортные издержки, маршрут

Для цитирования: Больт А. С., Больт П. С., Власова А. В. Организация пассажирских мультимодальных перевозок в современных условиях // Научный информационный сборник. Транспорт: наука, техника, управление. 2024. № 9. С. 17-25. DOI: 10.36535/0236-1914-2024-09-3.

LOGISTICS

Scientific article

ORGANIZATION OF MULTIMODAL PASSENGER TRANSPORTATION IN MODERN CONDITIONS

Alina S. Bolt

bolt.alina2015@yandex.ru, ORCID: orcid.org/0009-0002-3513-2022,

Polina S. Bolt

bolt.polina2018@yandex.ru, ORCID: orcid.org/0009-0009-4273-1286 ,

Arusya V. Vlasova

a.vlasova@mstuca.aero, ORCID: orcid.org/0000-0002-7659-375X,

(Moscow State Technical University of Civil Aviation)

Abstract. The results of the analysis of existing passenger multimodal transportation are described. Airspace restrictions and sanctions impact air travel both within and outside the country. The development of multimodal transportation is a promising solution to compensate for restrictions in aviation. The problems of passenger movement, both within the Russian Federation and abroad, are identified, and types of passenger transport that play a key role in passenger multimodal transportation are identified. This paper explains the concept of transport accessibility as a key indicator for assessing the accessibility of transport infrastructure for the population. New multimodal routes have been proposed and built, using other modes of transport, taking into account the existing infrastructure, on the territory of Russia and European countries using a single ticket, and the most popular passenger destinations have been identified. Using multimodal transportation, passengers will be able to reach places where transport infrastructure is limited or there are no communication routes. Also, the use of multimodal transportation over long distances will reduce costs for both passengers and agent organizations providing this transportation.

Keywords: multimodal transportation, transport accessibility, transport costs, route

For citation: Bolt A. S., Bolt P. S., Vlasova A. V. Organization of multimodal passenger transportation in modern conditions // Scientific Information Collection. Transport: science, equipment, management. 2024. № 9. P. 17-25. DOI: 10.36535/0236-1914-2024-09-3.

Введение

В современном мире глобализация и постоянная связность международных рынков и регионов привели к увеличению потока пассажиров между различными странами. Вместе с тем, смешанные международные пассажирские перевозки стали все более популярными и востребованными в настоящее время.

В современных реалиях смешанные перевозки имеют особую актуальность, связанную с обеспечением транспортной доступности и повышением мобильности населения [Егошин и др., 2018; Журавская и др., 2012]. Главным условием, при построении маршрутов с использованием различных видов транспорта, является эффективность с точки зрения протяженности, затрачиваемого на поездку времени и материальных затрат.

Целью данного исследования является построение новых эффективных маршрутов с применением мультимодальных перевозок путем совершенствование взаимодействия всех видов транспорта.

В связи с этим были определены задачи, решение которых способствует организации пассажирских мультимодальных перевозок. Это анализ существующих пассажирских мультимодальных перевозок, анализ роли каждого вида транспорта в данных перевозках, определение условий создания пассажирских мультимодальных перевозок, построение новых маршрутов с учетом имеющейся транспортной инфраструктуры.

Транспортная доступность - один из важнейших результатов работы транспортной системы, существующий для оценки доступности транспортной инфраструктуры для жителей конкретной страны или региона [Булгаков и др., 2019].

С помощью показателя доступности можно определить легкость перемещения пассажиров из одного пункта в другой, при помощи нескольких видов транспорта.

Учет показателя транспортной доступности играет важную роль в процессе более эффективного и устойчивого планирования сети маршрутов и развития транспортной инфраструктуры, учитывая интересы и потребности населения.

Смешанные перевозки (мультимодальные перевозки) - прямая смешанная перевозка пассажиров и багажа, предполагающая использование двух или более видов транспорта [Зедгенизов, 2018; Осипов, 2020].

Эти перевозки позволяют пассажирам перемещаться между городами и странами, выбирая оптимальные виды транспорта в зависимости от расстояния, времени и их условий эксплуатации.

Materials and methods

В качестве информационной базы в работе использовались:

- Один идентификатор Международной ассоциации воздушного транспорта (ИАТА от IATA) [Return to programs..., 2023];
- научные источники: книги, монографии, журнальные статьи, диссертационные исследования и т.п.;
- результаты собственных расчетов.

Дискуссия

На сегодняшний день проблема перемещения пассажиров особо актуальна для Российской Федерации, как в ее пределах, так и за рубежом [Дроздова и др., 2022]. На юге страны введен режим временного ограничения (Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 11.05.2022 № 173 "Об установлении постоянных зон ограничения полетов и временных зарезервированных зон ограничения полетов" (Зарегистрирован 14.06.2022 № 68854)), тем самым нарушена транспортная доступность региона. В список городов, в которые запрещен прилет и вылет самолетов, входят: Краснодар, Анапа, Геленджик, Ростов-на-Дону, Брянск, Воронеж, Белгород, Курск, Липецк, Симферополь и Элиста. Однако некоторые аэропорты в южной части России продолжают свою работу в штатном режиме [Контактная информация..., 2023]. В том числе: Сочи, Ставрополь, Тамбов, Астрахань, Владикавказ, Махачкала, Нальчик, Грозный, Минеральные воды, Магас.

На базе аэропорта Сочи создан хаб, с обширной региональной и маршрутной сетью. Организация данного нового узлового аэропорта стала оптимальным решением. Это позволяет повышать транспортную доступность регионов России, обеспечивать мобильность населения страны, поддерживать транспортную связность на международных направлениях, что является популярным для российских туристов.

Так же можно отметить, что частично вопросы решены за счет построения маршрутов с применением различных видов транспорта, так, например, Российские железные дороги (РЖД) увеличили число поездов на маршрутах из Адлера, Анапы, Новороссийска, Сочи и других городов юга России, чтобы обеспечить транспортную доступность.

Значительный рост спроса на смешанные перевозки в Российской Федерации особенно возрос в летний период [Осипова, 2008]. Интерес к такой перевозке увеличился в направлении юга страны, а именно в г. Сочи, где в начале августа этого года были введены смешанные перевозки. Это позволило путешественникам, прилетевшим в данный аэропорт из разных регионов страны, успешно добраться поездом до южных городов у моря с удобной пересадкой. Как итог, продлились железнодорожные пути до аэропорта Сочи и запуском поездов «Ласточка» до станции аэропорта в Сочи.

Так, авиакомпания «Аэрофлот» совместно с Акционерным Обществом «Федеральная Пассажирская Компания» запустили смешанные перевозки Москва-Сочи-Анапа «самолёт + поезд» 4 августа 2023 года [Лапидус, 2018]. Пассажиров перевозят к курортам Краснодарского края по единому билету. Сервис предусматривает удобное стыковочное расписание с пересадкой на электропоезд, следующий до Анапы.

Так же существуют примеры перемещения пассажиров с использованием различных видов транспорта за рубеж, примером служит Болгария.

Прямые рейсы между Россией и Болгарией отсутствуют, в связи с закрытием воздушного пространства странами, входящими в Европейский Союз, Велико-

британией, Норвегией, Исландией и Северной Македонией. Данные страны ввели авиационные санкции, что означает невозможность совершения полетов над Европой для российских перевозчиков. После введения европейских санкций, Россией были введены ответные санкции для стран, закрывших свое воздушное пространство. При этом ответные меры, предпринятые Россией, оказали более негативное влияние. Данное обстоятельство напрямую связано с обширным воздушным пространством нашей страны, что в свою очередь явилось следствием поиска новых маршрутов, что значительно увеличивает время полетов, а вместе с тем и расход топлива, а также цены на авиабилеты. Посетить Болгарию можно используя мультимодальные перевозки (самолет + автобус). Гражданам Российской Федерации необходимо заранее оформить болгарскую визу «С» или иметь действующую шенгенскую визу. На сегодняшний день одним из популярных пересадочных узлов является Стамбул. Добраться до данного аэропорта можно из Москвы, Санкт-Петербурга, Волгограда и других городов России. Можно лететь как российской авиакомпанией, так и турецкой, выбрать удобное время и аэропорт прибытия. На данном этапе следует грамотно выбрать аэропорт прибытия. В данном случае Новый аэропорт Стамбула предпочтительнее, так как находится ближе к границе с Болгарией. От него ходят автобусы в прибрежные болгарские города.

Организация автобусных маршрутов от Турции до Болгарии стала доступной благодаря новому провайдеру «Балкан», который предлагает возможность приобрести билеты на автобус прямо вместе с авиабилетом из России в Стамбул. Теперь добраться до Болгарии можно, купив единый билет. Отмечается, что ряд авиакомпаний рассматривают возможность заключения Интерлин-соглашения, чтобы предоставлять к покупке единые билеты на личном бланке. Данная схема позволяет туристам сэкономить время и усилия, приобретая единый билет, который включает как авиаперелет из России в Стамбул, так и проезд на автобусе до желаемого пункта назначения в Болгию.

В связи с поставленными задачами для построения более эффективных мультимодальных маршрутов необходимо рассмотреть детально роли различных видов транспорта [Голубев, 2020]:

1. Воздушный транспорт играет значительную роль в смешанных перевозках, обеспечивая скорость и эффективность передвижений на большие расстояния. Современные авиационные технологии позволяют свободно совершать пересадки между различными авиалиниями. Существуют два соглашения – Код-шеринг и Интелайн. При таких соглашениях между перевозчиками, пассажиру не требуется покупать отдельные билеты на каждый рейс авиакомпаний, достаточно купить единый билет на все перелеты.

- Код-шеринговые соглашения предусматривают, что каждая авиакомпания продает билеты под своим собственным брендом и номером рейса (в рамках своего расписания). Однако, выполнение рейса осуществляется только одна авиакомпания.

- Благодаря Интерлайн [Потапов, 2018] соглашениям между перевозчиками, пассажиру не потребуется покупать отдельные билеты на рейсы отдельных авиакомпаний. В таком случае пассажиру не придется в аэропорту стыковки получать багаж и снова проходить регистрацию на рейс.

Активности авиационной компании регулируются межправительственными соглашениями, которые определяют основные принципы и нормы воздушного сообщения между соответствующими странами. Кроме того, деятельность авиакомпании также подчиняется законодательству Российской Федерации и коммерческим соглашениям, которые фирма заключает с другими авиакомпаниями, авиапредприятиями, туристическими агентствами, агентскими и другими организациями, предоставляющими поддержку и обслуживание [Лебедев и др., 2019, с.46].

Многие логистические компании избегают взаимодействия с воздушным транспортом, обосновывая это дороговизной и малой грузоподъемностью. Но необходимо учесть, что при организации смешанных, именно пассажирских перевозок, без эффективного, с точки зрения скорости перемещения, воздушного транспорта не обойтись.

2. Наземный транспорт, включая железные дороги и автодороги, также занимает важное место в смешанных перевозках. Модернизация инфраструктуры и использование новых технологий позволили образовать подходящую транспортную сеть, что гарантирует точное совмещение времени прибытия и отправления пассажиров [Setiawan et al., 2017].

3. Водный транспорт - перевозки морскими судами используются для долгих путешествий между континентами и для перевозки пассажиров на круизах. Данный вид перевозок среди мультимодальных пассажирских не так популярен, как воздушный и наземный транспорт, из-за ряда ограничений, таких как сезонность работы, временные затраты, специфичность путей сообщения. Однако в настоящее время морской транспорт набирает активную популярность, а именно в Европейской части.

Согласно определенным задачам и поставленной цели из представленного выше материала, можем выделить условия организации мультимодальных перевозок [Li et al., 2017]:

1. Единый билет на всем пути перемещения, с учетом всех видов транспорта;

2. Максимально удобная «стыковка» между рейсами, то есть сокращение времени, расстояния и количества пересадок;

3. Обеспечение безопасной перевозки пассажиров.

Развитие мультимодальных перевозок на данный период стремительно растет, с рядом множества ограничений для передвижения пассажиров как внутри нашей страны, так и за ее пределами. Организация комбинированных маршрутов, с использованием различных видов транспорта, выгодна для путешественников, позволяя им сэкономить на расходах в организации поездок [Rodrigue et al., 2017].

На сегодняшний день, пассажирам предоставляются различные мультимодальные перевозки. Предлагается рассмотреть некоторые из них, как на территории Российской Федерации, так и за ее пределами.

Результаты

Связанность аэропорта с городом имеет значительную роль, при построении пассажирских мультимодальных перевозок, так как важно, чтобы туристы могли быстро и без затруднений добраться до начального пункта своего отправления. Так, пассажиры московского авиационного узла могут добраться до аэропорта на

метро, аэроэкспрессе, автобусе, экспресс-автобусе [Родионова и др., 2021].

Москва – Сочи – Анапа

Как упоминалось ранее, авиакомпания «Аэрофлот» совместно с Акционерным Обществом «Федеральная Пассажирская Компания» организовали маршрут Москва–Сочи–Анапа. Рассчитаем примерную стоимость такой перевозки, с учетом всех расходов от точки «А» до точки «Б».

Приобрести единый билет можно на сайте Trip&Fly в партнерстве с авиакомпанией «Аэрофлот» по маршруту Москва–Сочи–Анапа.

На первом участке маршрута (Москва–Сочи) будет применен воздушный транспорт, на втором (Сочи–Анапа) – железнодорожный.

Расчеты предоставлены на 6 декабря 2023 года в таблице 1. Стоит отметить, что цены будут отличаться в зависимости от времени года.

Таблица 1
Расчет маршрута «Москва–Сочи–Анапа»

Москва–Сочи–Анапа			
Вид транспорта	Точка отправления	Стоимость перевозки	Время в пути
Дорога до аэропорта Шереметьево			
Аэроэкспресс	Ежедневно от Белорусского, Савеловского вокзалов; Станция Московского Центрального Кольца «Окружная»; Станций Московского Центрального Диаметра (Одинцово, Баковка, Сколково, Немчиновка, Сетунь, Рабочий Посёлок, Кунцевская, Славянский бульвар, Фили, Тестовская).	Стандарт – 470 рублей; Бизнес – 1000 рублей	50 минут
Экспресс-автобус	От метро «Ховрино»	250 рублей	Около 20 минут
Автобус	Метро «Речной вокзал» №851; Метро «Планетарная» №948, №817, №62к, №41; Любnya №38, №48, №21, №24к, №33к	От 46 до 92 рублей	Около 40 минут
Москва – Сочи			
Авиаперелет (самолет)	Аэропорт «Шереметьево»	Эконом Лайт (ручная кладь до 10кг) - 6 334 рублей Эконом Оптимум (ручная кладь до 10кг, багаж 1 место 23кг) - 8 700 рублей Эконом Максимум (ручная кладь до 10кг, багаж 2 места по 23кг) - 13 441 рублей	4 часа
Сочи–Анапа			
Ласточка №830	Адлер (Аэропорт «Сочи»)	На данном маршруте отсутствует разделение по классам. Стоимость перевозки – 1 376 рублей	8 ч 50 минут

Рассчитав стоимость перевозки на каждом участке маршрута, можно прийти к следующим выводам:

1. На первом участке маршрута пассажирам стоит отталкиваться исходя из их места проживания или «нулевой точки отправки». На данной части маршрута предоставляется достаточно большой выбор точки отправления (вокзалы, станции Московского Центрального Диаметра, Московского Центрального Кольца и станции метро);

2. На втором участке маршрута предоставляется шесть авиаперелетов авиакомпании «Аэрофлот», отличающихся друг от друга временем вылета, а также временем стыковки – от 2 ч 36 мин до 19 ч 46 мин;

3. «Ласточка» №830 отправляется прямо от терминала. Выход на железнодорожную станцию оборудован в правом крыле основного здания на 2-м этаже. Поэтому выбрав трехчасовую пересадку, пассажиры спокойно успеют забрать багаж, если он предусмотрен билетом и перейти на платформу.

Общий расход составит от 7 996 рублей и до 14 900 рублей.

Москва–Стамбул–Болгария (Бургас)

Данная перевозка осуществляется туроператором «Балкан», который предоставляет пассажирам перевозку, включающую на первом участке маршрута (Москва–Стамбул) применяется воздушный транспорт, на втором (Стамбул–Бургас) – наземный.

Рассчитаем примерную стоимость такой перевозки, с учетом всех расходов от точки «А» до точки «Б». Расчет маршрута представлен в таблице 2.

Все расчеты предоставлены на 6 декабря 2023 года. Стоит отметить, что цены будут отличаться в зависимости от времени года.

Для начала, пассажирам необходимо оформить Шенгенскую визу. Оформляя через туроператора, стоимость составит приблизительно 10 000 рублей. Более подробно со всей информацией можно ознакомиться на официальном сайте «Балкан».

Предлагаем более детально рассмотреть процесс передвижения пассажиров из «нулевой точки» до пункта назначения.

Таблица 2

Расчет маршрута «Москва-Стамбул-Болгария (Бургас)»

Москва-Стамбул-Болгария (Бургас)			
Вид транспорта	Точка отправления	Стоимость перевозки	Время в пути
Дорога до аэропорта Шереметьево			
Аэроэкспресс	Ежедневно от Белорусского, Савеловского вокзалов; Станция Московского Центрального Кольца «Окружная»; Станций Московского Центрального Диаметра (Одинцово, Баковка, Сколково, Немчиновка, Сетунь, Рабочий Посёлок, Кунцевская, Славянский бульвар, Фили, Тестовская).	Стандарт – 470 рублей; Бизнес – 1 000 рублей	50 минут
Экспресс-автобус	От метро «Ховрино»	250 рублей	Около 20 минут
Автобус	Метро «Речной вокзал» №851; Метро «Планетарная» №948, №817, №62к, №41; Лобня №38, №48, №21, №24к, №33к	От 46 до 92 рублей	Около 40 минут
Дорога до аэропорта Внуково			
Метро	Добраться до станции «Аэропорт Внуково» можно с любой станции, совершив пересадки внутри	Карта «Тройка» - 54 рубля; Билет «Единый» - 315 рублей (на один день); Оплата банковской картой – 60 рублей	Время в пути зависит от начальной точки отправления
Москва-Стамбул			
Туроператор «Балкан» предоставляет авиаперелет совместно со следующими авиакомпаниями – «Победа», «Аэрофлот»			
Авиаперелет	Авиакомпания «Победа»	Аэропорт «Внуково»	5 ч 15 минут
			Тариф «Выгодный» (ручная кладь 36*30*27, багаж до 10 кг) - 7 915 рублей
	Авиакомпания «Аэрофлот»	Аэропорт «Шереметьево»	Тариф «Максимум» (ручная кладь 36*30*27, багаж до 20 кг) – 10 615 рублей
			5 ч 25 минут
			Эконом Лайт (ручная кладь до 10кг) - 6 334 рублей
			Эконом Оптимум (ручная кладь до 10кг, багаж 1 место 23кг) - 8 700 рублей
Стамбул-Бургас			
Автобус (трансфер)	Туроператор «Балкан Экспресс»	Аэропорт Стамбула	Стоимость трансфера — 11 000 рублей (стоимость трансфера варьируется исходя из количества человек)
			7 часов

Рассчитав стоимость перевозки на каждом участке маршрута, можно сделать следующие выводы:

1. Первым этапом является оформление визы. Это достаточно долгий процесс, который займет не мало времени и сил. В процессе оформления могут возникнуть следующие трудности: запись на подачу и получение визы, неполный «пакет» документов, ошибки в заполнении документов и так далее;

2. На первом участке маршрута, пассажирам стоит обратить внимание как проще и быстрее добраться до аэропорта, минуя сложные маршруты на пути. На данном участке маршрута им предоставляется достаточно большой выбор точки отправления (вокзалы, станции Московского Центрального Диаметра, Московского Центрального Кольца и станции метро);

3. Туроператор «Балкан» организовывает перемещение пассажиров, подбирая наиболее удобный авиаперелет между Москвой и Стамбулом, организовывает трансфер от Стамбула до пункта назначения, помогает

в оформлении визы. Таким образом, обратившись за помощью к специалистам, пассажиры смогут миновать трудности в оформлении данной поездки.

Общая стоимость поездки составит от 27 607 рублей и до 33 378 рублей. Указанный расчет стоимости является приблизительным и в дальнейшем может меняться в зависимости от различных факторов, в том числе, стоимости оформление визы, времени года и так далее.

С учетом эффективного примера мультимодальных перевозок, можем предложить построить другие маршруты на территории России и стран Европы, с использованием других видов транспорта, с учетом имеющейся инфраструктуры.

На территории Российской Федерации можно построить мультимодальный маршрут Москва-Иркутск-Ольхон, включающий в себя авиаперелет и наземный транспорт. Результаты расчета маршрута представлены в таблице 3. Посетить Байкал лучше всего зимой или летом, поэтому расчеты будут производить на зимний период.

Таблица 3

Расчет маршрута «Москва-Иркутск-Ольхон»

Вид транспорта	Точка отправления	Стоимость перевозки	Время в пути
Дорога до аэропорта Шереметьево			
Аэроэкспресс	Ежедневно от Белорусского, Савеловского вокзалов; Станция Московского Центрального Кольца «Окружная»; Станций Московского Центрального Диаметра (Одинцово, Баковка, Сколково, Немчиновка, Сетунь, Рабочий Посёлок, Кунцевская, Славянский бульвар, Фили, Тестовская).	Стандарт – 470 рублей; Бизнес – 1000 рублей	50 минут
Экспресс-автобус	От метро «Ховрино»	250 рублей	Около 20 минут
Автобус	Метро «Речной вокзал» №851; Метро «Планетарная» №948, №817, №62к, №41; Лобня №38, №48, №21, №24к, №33к	От 46 до 92 рублей	Около 40 минут
Дорога до аэропорта Домодедово			
Аэроэкспресс	Павелецкий вокзал	Стандарт – 470 рублей; Бизнес – 1000 рублей	46 минут
Автобус/маршрутка	Станция метро «Домодедовская»	150 рублей	35-45 минут
Электричка	Павелецкий вокзал	180 рублей	1 ч 20 минут
Москва – Иркутск			
Рассмотрим перелеты таких авиакомпаний, как – «S7 Airlines», «Аэрофлот»			
Авиаперелет (самолет)	Авиакомпания «Аэрофлот»	Аэропорт «Шереметьево»	Эконом Лайт (ручная кладь до 10кг) – 19 319 рублей
			Эконом Оптимум (ручная кладь до 10кг, багаж 1 место до 23кг) – 24 419 рублей
			Эконом Максимум (ручная кладь до 10кг, багаж 2 места по 23кг) – 34 600 рублей
	Авиакомпания «S7 Airlines»	Аэропорт «Домодедово»	Эконом «Базовый» (ручная кладь до 10кг) – 17 600 рублей
			Эконом «Стандарт» (ручная кладь до 10кг, багаж 1 место до 23 кг, спортивное оборудование) – 21 700 рублей
			Эконом «Плюс» (ручная кладь до 10кг, багаж 1 место до 32 кг, спортивное оборудование) – 31 800 рублей
Аэропорт «Иркутск» - Листвянка			
Трансфер (автобус)	Аэропорт «Иркутск»	Стоимость трансфера — 1 500 рублей (стоимость трансфера варьируется исходя из количества человек)	Приблизительно 2 часа

Рассчитав стоимость перевозки на каждом участке маршрута, можно прийти к следующим выводам:

1. Транспорт на первом участке маршрута зависит от выбора самого пассажира, его местоположения, предпочтений, связанных с комфортом поездки. На данной части маршрута предоставляется достаточно большой выбор точки отправления (вокзалы, станции Московского Центрального Диаметра, Московского Центрального Кольца и станции метро);

2. На втором участке маршрута предлагаем рассмотреть перелеты двух авиакомпаний, которые осуществляют перелеты из Москвы в Иркутск. Стоит обратить внимание, что следует отталкиваться от времени вылета, расположения аэропорта по отношению к месту проживания, стоимости перелета;

3. На конечном этапе маршрута предлагаем запустить трансфер из аэропорта, что позволит снизить затраты и время пребывания в пути пассажири.

Рассмотрим и рассчитаем вариант зарубежного маршрута: Москва-Бодрум-Греция (остров Кос).

На данном этапе российским авиакомпаниям, осуществляющим авиаперелеты в Бодрум, для осуществления эффективной перевозки необходимо заключить Кодшеринговое соглашение с иностранными перевозчиками, занимающимися, паромными переправами из Тур-

ции в Грецию (остров Кос). Заключив такое соглашение, компании смогут предложить пассажирам наиболее оптимальные пути передвижения из России до Греции имея на руках единый билет. В качестве авиакомпании перевозчика, для примера, приведена авиакомпания «Аэрофлот», так как она осуществляет прямые перелеты в Бодрум.

Для того, чтобы попасть на остров Кос, пассажирам необходимо оформить одноразовую «островную визу», которая распространяется на острова Греции, входящие в Элладу (Кос, Хиос, Лесбос, Родос, Самос, Мейс, Сими). С такой визой можно находиться на островах в течение 7 дней, со следующими ограничениями:

- Островная виза не то же самое, что Шенгенская, и она не действует на материковой части Греции и на островах, не относящихся к Элладе;

- граждане РФ обязаны вернуться назад в Турцию, и оттуда уехать обратно в Россию.

Островную визу можно получить только в курортный сезон с начала июня по конец сентября.

Далее приведен расчёт примерной стоимость такой перевозки, с учетом всех расходов, представленный в таблице 4. Все расчеты представлены приблизительные, с учетом возможного повышения цен в предстоящем году.

Таблица 4

Расчет маршрута «Москва-Бодрум-Греция (остров Кос)»

Вид транспорта	Точка отправления	Стоимость перевозки	Время в пути
Дорога до аэропорта «Шереметьево»			
Аэроэкспресс	Ежедневно от Белорусского, Савеловского вокзалов; Станция Московского Центрального Кольца «Окружная»; Станций Московского Центрального Диаметра (Одинцово, Баковка, Сколково, Немчиновка, Сетунь, Рабочий Посёлок, Кунцевская, Славянский бульвар, Фили, Тестовская).	Стандарт – 470 рублей; Бизнес – 1000 рублей	50 минут
Экспресс-автобус	От метро «Ховрино»	250 рублей	Около 20 минут
Автобус	Метро «Речной вокзал» №851; Метро «Планетарная» №948, №817, №62к, №41; Лобня №38, №48, №21, №24к, №33к	От 46 до 92 рублей	Около 40 минут
Москва - Бодрум			
Авиаперелет	Авиакомпания «Аэрофлот»	Москва «Шереметьево» Эконом Лайт (ручная кладь до 10кг) – 9 200 рублей Эконом Оптимум (ручная кладь до 10кг, багаж 1 место 23кг) – 12 700 рублей Эконом Максимум (ручная кладь до 10кг, багаж 2 места по 23кг) – 25 600 рублей	<input type="checkbox"/> 4 часа
Аэропорт «Милас» - паромный причал «Bodrum»			
Трансфер	Аэропорт «Милас»	Стоимость трансфера <input type="checkbox"/> 3 000 рублей (стоимость трансфера варьируется, исходя из количества человек)	40-60 минут
Паромный причал «Bodrum» - паромный причал «Kos»			
Паром	Паромный причал «Bodrum»	От 1 600 рублей до 4 300 рублей	30 минут

Расчет был проведен с учетом существующих инфраструктурных объектов, расположенных на протяжении всего маршрута. Благодаря этому маршруту, пассажиры могут посетить как турецкий город Бодрум, так и греческий остров Кос. Безусловно, такой путь открывает перед ними уникальные возможности для путешествий и отдыха.

Рассчитав стоимость перевозки на каждом участке маршрута, можно сделать следующие выводы:

1. Оформить визу можно как через туроператора, предоставляющего перевозку, так и по прилете в Бодрум. Но стоит помнить, что все документы, необходимые для получения визы должны быть собраны и оформлены заранее;

2. Пассажирам стоит ориентироваться на свое местоположение, важен ли дня них комфорт на первом участке пути, время, как на данном участке предлагается большой выбор точки отправления;

3. Туроператор, организовывающий перевозку, подбирает даты и время вылета исходя из запросов пассажира, в следствии чего время прибытия трансфера, который мы предлагаем организовать от аэропорта до парома подстраивается под время прибытия.

Время пути на пароме составляет пол часа, что позволит туристам добраться до пункта назначения с минимальным нахождением на данном виде транспорта.

Заключение

Успешное создание пассажирских мультимодальных перевозок способствует решению проблем, связанных с транспортной доступностью населения в современных условиях, развитию транспортной инфраструктуры, взаимодействие Российской Федерации с другими странами для эффективного перемещения пассажиров.

Организация пассажирских мультимодальных перевозок в современных условиях набирает обороты в своем развитии. Применение мультимодальных перевозок обусловлено тем, что необходимо снижать издержки на выполнение перевозок. Осуществляя такие перевозки можно добраться в те пункты, где были отменены или отсутствуют прямые пути сообщения.

Для повышения эффективности построения новых и улучшения действующих мультимодальных маршрутов стоит учитывать эффективность данного маршрута, улучшая показатели совокупной перевозки на всем ее протяжении. А именно время в пути, стоимость перевозки, не только для пассажира, приобретающего единый билет, но и для агентств, осуществляющих данную перевозку, комфорт на всем пути.

© Болть А. С., Болть П. С., Власова А. В., 2024.

Список источников

1. Голубев А.А. Интеграция различных видов транспорта в мультимодальных перевозках.: Транспорт. 2020. Т. 35. № 2. с. 211-225.
2. Дроздова М.А., Зарубкина О.В. Актуальные вопросы развития международноправового регулирования транспортно-логистической сферы в современных социально-экономических условиях / М.А. Дроздова, О.В. Зарубкина // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. 2022. Т. 2. № 4 (103). с. 160–168. DOI: 10.51965/2076-7919-2022-2-4-160.
3. Егошин С. Ф. Авиатранспортная доступность и транспортная дискриминация населения в субъектах Российской Федерации / С. Ф. Егошин, А. В. Смирнов // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2018. Т. 21. № 3. С. 78-90. DOI: 10.26467/2079-0619-2018-21-3-78-90.
4. Журавская М.А. О размещении остановочных пунктов при осуществлении мультимодальных пассажирских перевозок / М.А. Журавская, А.Л. Казаков, П.А. Парсюрова // Транспорт Урала. 2012. № 4. с. 50-53. EDN: PKIWKT.
5. Зедгенизов А. В. Мультимодальные перевозки. Иркутск: ИрНИТУ, 2018. 31 с.
- Контактная информация по запретным зонам, установленным в соответствии с приказом Минтранса России от 11.05.2022 № 172 «Об установлении запретных зон». // [Электронный ресурс]. 2023. URL: <https://favt.gov.ru/dejatelnost-organizacija-ispolzovanija-vozdushnogo-prostranstva-informacijaj?id=10655> (дата обращения: 20.11.2023)
6. Лапидус Б.М. Опережающее развитие железнодорожного транспорта - выбор времени // Бюллетень объединенного ученого совета ОАО «РЖД». 2018. № 5-6. с. 1-16. EDN: VUQJFM.
7. Лебедев М.Ю., Гер О.Ю. Методические указания по изучению дисциплины и выполнению контрольной работы/ Университет ГА. С.-Петербург. 2019. с.46.
8. Осипов В.Н. Мультимодальные перевозки: определение, виды, проблемы // Транспорт России. 2020. № 1. с. 48-53.
9. Осипова О. Я. Транспортное обслуживание туристов: учеб. пособие. 4-е изд., испр. и доп.- М.: Академия, 2008. 384 с.
10. Потапов И.В. Коммерческая деятельность на воздушном транспорте: учеб. пособие. Самара: Издательство Самарского университета, 2018. с. 30-31
11. Родионова Н. А. Основные тенденции развития туристического обслуживания труднодоступных регионов / Н. А. Родионова, Ю. И. Куприянова. Москва: Российский университет транспорта, 2021. с. 345-348. EDN: TRNMWC.
- Транспортная доступность как инструмент анализа транспортной системы города/ В.Е., Кротов В.В., Кудряшина О.А. [и др.] Вестник Московского государственного строительного университета. 2019. № 5 (47). с. 12-23.
12. Li Y. Mobility-as-a-Service: A Critical Review and the Generalized Multi-modal Transport Experience / Y. Li, J. May, S. Cook // Conference: International Conference on Human-Computer Interaction. 2019. pp. 196-197. DOI: 10.11007/978-3-030-22580-3-15.
13. Return to programs and policy. IATA. 2023.// [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.iata.org/en/programs/passenger/one-id/#tab-1> (дата обращения: 10.01.2024)
14. Rodrigue J.-P. The Geography of Transport Systems / J.-P. Rodrigue, C. Comtois, B. Slack. 2017. №4. 440 p.
15. Setiawan D. Integration of Public Transport Systems for Enhanced Passenger Mobility: A Systematic Review / S. Priyanto, M. Amrozi // International Journal of Transport Development and Integration. 2024. №1. pp. 114-115.

References

1. Golubev A.A. Integration of various modes of transport in multimodal transportation.: Transport. 2020. Vol.—35. No. 2. pp. 211-225.
2. Drozdova M.A., Zarubkina O.V. (2022) Current issues in the development of international legal regulation of the transport and logistics sector in modern socio-economic conditions / M.A. Drozdova O.V. Zarubkin // Bulletin of the Volga University named after. V.N. Tatishcheva. 4(103): 160–168. DOI: 10.51965/2076-7919-2022-2-4-160.
3. Egoshin S.F. (2018). Air transport accessibility and transport discrimination of the population in the constituent entities of the Russian Federation / S.F. Egoshin, A.V. Smirnov // Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation. 3: 78-90. DOI: 10.26467/2079-0619-2018-21-3-78-90.
4. Zhuravskaya M.A. On the placement of stopping points in the implementation of multimodal passenger transportation / M.A. Zhuravskaya, A.L. Kazakov, P.A. Parsiurova // Transport The Urals. 2012. No. 4. pp. 50-53. EDN: PKIWKT. 5.
5. Zedgenizov A.V. Multimodal transportation. Irkutsk: IrNITU, 2018. 31 p. Contact information on restricted areas established in accordance with the order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated 05/11/2022 No. 172 "On the establishment of restricted areas". // [Electronic resource]. 2023. URL: <https://favt.gov.ru/dejatelnost-organizacija-ispolzovanija-vozdushnogo-prostranstva-informacij/?id=10655> (accessed: 11/20/2023).
6. Lapidus B.M. (2018). Advanced development of railway transport - timing // Bulletin of the United Academic Council of JSC Russian Railways. 5-6: 1-16. EDN: VUQJFM.
7. Lebedev M.Yu., Ger O.Yu. (2019). Guidelines for studying the discipline and completing the test / University of Civil Aviation. St. Petersburg. 2019. p.46.
8. Osipov V.N. Multimodal transportation: definition, types, problems // Transport of Russia. 2020. No. 1. pp. 48-53.
9. Osipova O. Ya. Transport services for tourists: studies. stipend. 4th ed., ispr. and add.- M.: Academy, 2008. 384 p.
10. Potapov I.V. Commercial activity in air transport: studies. stipend. Samara: Samara University Press, 2018. pp. 30-31.
11. Rodionova N. A. The main trends in the development of tourist services in hard-to-reach regions / N. A. Rodionova, Yu. I. Kupriyanova. Moscow: Russian University of Transport, 2021. pp. 345-348. EDN: TRNMWC. Transport accessibility as a tool for analyzing the city's transport system/ V.E., Krotov V.V., Kudryashova O.A. [et al.] Bulletin of the Moscow State University of Civil Engineering. 2019. No. 5 (47). pp. 12-23.
12. Li Y. Mobility-as-a-Service: A Critical Review and the Generalized Multi-modal Transport Experience / Y. Li, J. May, S. Cook // Conference: International Conference on Human-Computer Interaction. 2019. p. 196-197. DOI: 10.1007/978-3-030-22580-3-15.
13. Return to programs and policy. IATA. 2023.// [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.iata.org/en/programs/passenger/one-id/#tab-1> (дата обращения: 10.01.2024)
14. Rodrigue J.-P. (2017). The Geography of Transport Systems / J.-P. Rodrigue, C. Comtois, B. Slack. 4: 440.
15. Setiawan D. (2024). Integration of Public Transport Systems for Enhanced Passenger Mobility: A Systematic Review / S. Priyanto, M. Amrozi // International Journal of Transport Development and Integration. 1: 114-115.

Информация об авторах

Больт Алина Сергеевна - студент, Московский государственный технический университет гражданской авиации, Кронштадтский б-р, д. 20 Москва, 125493, Россия, bolt.alina2015@yandex.ru

Больт Полина Сергеевна - студент, Московский государственный технический университет гражданской авиации, Кронштадтский б-р, д. 20. Москва, 125493, Россия.

Власова Аруся Витальевна - кандидат технических наук, доцент кафедры организации перевозок на воздушном транспорте Московский государственный технический университет гражданской авиации, Кронштадтский б-р, д. 20. Москва, 125493, Россия.

Information about the author

Alina S. Bolt - student, Moscow State Technical University of Civil Aviation, 20, Kronshtadtsky blvd, Moscow, 125493 Russia.

Polina S. Bolt - student, Moscow State Technical University of Civil Aviation, 20, Kronshtadtsky blvd. Moscow, 125493 Russia.

Arusya V. Vlasova - PhD (Tech.), Associate Professor of the Department of Air Transport Organization, Moscow State Technical University of Civil Aviation, 20, Kronshtadtsky blvd. Moscow, 125493 Russia.

Статья поступила в редакцию 15.04.2024, одобрена после рецензирования 17.05.2024, принята к публикации 10.06.2024.

The article was submitted 04.07.2024, approved after reviewing 15.07.2024, accepted for publication 12.08.2024.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors' contribution: All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The authors declare that there is no conflict of interest.

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ

Научная статья

УДК 338.47 : 656.223.1

DOI: 10.36535/0236-1914-2024-09-4

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОТРАСЛЕВОЙ И РЕГИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ПЕРЕВОЗОК НА ТРАНСПОРТНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ

Подсорин Виктор Александрович

podsorin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2552-8536>

(Российский университет транспорта. Москва, Россия)

Буровцев Владимир Викторович

burovtsev@yandex.ru,

Кобылицкий Андрей Николаевич

akobylitsky@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2109-0124>

Куранова Анастасия Алексеевна

kuranova-nastya@mail.ru

(Дальневосточный государственный университет путей сообщения. Хабаровск, Россия)

Аннотация. В статье актуализирована проблема оценки влияния отраслевой и региональной структуры перевозок на транспортную доступность регионов в разрезе железных дорог и федеральных округов, рассмотрена динамика основных производственных показателей пассажирского железнодорожного транспорта, представлена оценка степени дифференциации пассажирского железнодорожного сообщения с учетом динамики коэффициентов транспортной обеспеченности и доступности, рассчитанных в разрезе железных дорог и федеральных округов, определена последовательность падений и подъемов объема пассажирских перевозок и транспортной работы, выявлены локальные экстремумы за период с 2013 по 2023 г., рассмотрен циклический характер изменений во временном ряду объемов пассажирских перевозок, сделан вывод о воздействии внешних факторов на уровень транспортной подвижности населения, акцентировано внимание на влиянии обширного перечня государственных ограничений на транспортную доступность и реакцию дорог на изменение мобильности населения, предложена классификация дорог в укрупненные сегменты для дальнейших исследований влияния отраслевой и региональной структуры перевозок на транспортное обслуживание населения.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, пригородное сообщение, дальнее следование, транспортная доступность, объем пассажирских перевозок, транспортная подвижность населения, железнодорожная сеть

Для цитирования: Подсорин В. А., Буровцев В. В., Кобылицкий А. Н., Куранова А. А. Оценка влияния отраслевой и региональной структуры перевозок на транспортное обслуживание населения // Научный информационный сборник. Транспорт: наука, техника, управление. 2024. № 9. С. 26-40. DOI: 10.36535/0236-1914-2024-09-4.

RAILWAY TRANSPORT

Scientific article

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF INDUSTRY AND REGIONAL TRANSPORTATION STRUCTURE ON TRANSPORT SERVICES TO THE POPULATION

Viktor A. Pod sorin

podsorin@mail.ru,

(Russian University of Transport. Moscow, Russia)

Vladimir V. Burovtsev

burovtsev@yandex.ru,

Andrey N. Kobylitsky

akobylitsky@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2109-0124>

Anastasia A. Kuranova

kuranova-nastya@mail.ru

(Far Eastern State Transport University. Khabarovsk, Russia)

Annotation. The article updates the problem of assessing the influence of the sectoral and regional structure of transportation on the transport accessibility of regions in the context of railways and federal districts, examines the dynamics of the main production indicators of passenger railway transport, presents an assessment of the degree of differentiation of passenger railway traffic, taking into account the dynamics of transport availability and accessibility coefficients calculated in the context of railways and federal districts, the sequence of falls and rises in the volume of passenger traffic and

transport work was determined, local extrema were identified for the period from 2013 to 2023, the cyclical nature of changes in the time series of passenger traffic volumes was considered, a conclusion was made on the impact of external factors on the level of transport mobility of the population, attention is focused on the influence of an extensive list of government restrictions on transport accessibility and the reaction of roads to changes in population mobility, a classification of roads into enlarged segments is proposed for further research into the influence of the sectoral and regional structure of transportation on transport services for the population.

Key words: railway transport, suburban services, long-distance travel, transport accessibility, volume of passenger traffic, transport mobility of the population, railway network

For citation: Podgorin V.A., Burovtsev V.V., Kobylitsky A.N., Kuranova A.A. Assessment of the influence of industry and regional transportation structure on transport services to the population // Scientific Information Collection. Transport: science, equipment, management. 2024. № 9. P. 26-40. DOI: 10.36535/0236-1914-2024-09-4.

Введение

Железнодорожный транспорт, который является одним из ключевых элементов системы пассажирских перевозок в Российской Федерации, реализует социально значимую функцию – обеспечение доступности и свободы передвижения населения. Современное направление развития пассажирского комплекса государства ориентировано как на внутренних пользователей транспортной отрасли, так и на внешних, совокупно образуя общественно-полезные внеэкономические эффекты: экономию свободного времени пассажира, обеспечение трудовой мобильности и доступа к рекреационным ресурсам и др. [1,3,4,7].

По критерию дальности перевозки пассажиров железнодорожным транспортом классифицированы на пригородное сообщение, в состав которого интегрировано внутригородское, и дальнее следование, объединяющее перевозки в местном и прямом сообщении [5,6,7].

Пригородное сообщение отличает циклический характер перемещения населения (суточная, недельная и сезонная неравномерность пассажиропотока) и массовость – 89,72 % от числа отправленных пассажиров в целом по железнодорожному транспорту за 2023 г. В дальнем следовании основным фактором, который влияет на величину транспортной работы, является рас-

стояние перевозок. Таким образом, удельный вес пассажирооборота в дальнем следовании в общей структуре железнодорожных пассажирских перевозок составляет 75,72 % [6,8,12,13].

Рынок дальних перевозок железнодорожным транспортом представлен основным игроком – АО «Федеральная пассажирская компания» (далее – АО «ФПК») и рядом компаний, которые осуществляют перевозки по некоторым специально выделенным маршрутам. В пригородном пассажирском комплексе пассажирские перевозки выполняются 25 пригородными пассажирскими компаниями (далее – ППК) – дочерними зависимыми обществами ОАО «РЖД». Однако, обслуживание отдельных подсегментов пассажирского сообщения осуществляют обособленные компании, такие как ООО «Аэроэкспресс», АО «АК «Железные дороги Якутии», АО ТК «Гранд Сервис Экспресс», Дирекция скоростного сообщения и другие перевозчики [4, 7, 10, 13].

Анализ

В целях идентификации текущего состояния пассажирского комплекса исследуем динамику ключевых производственных показателей за последние 10 лет с 2013 по 2023 гг.: перевезено пассажиров (ΣA) и пассажирооборот (ΣAl) в дальнем следовании и пригородном сообщении (см. рис. 1).

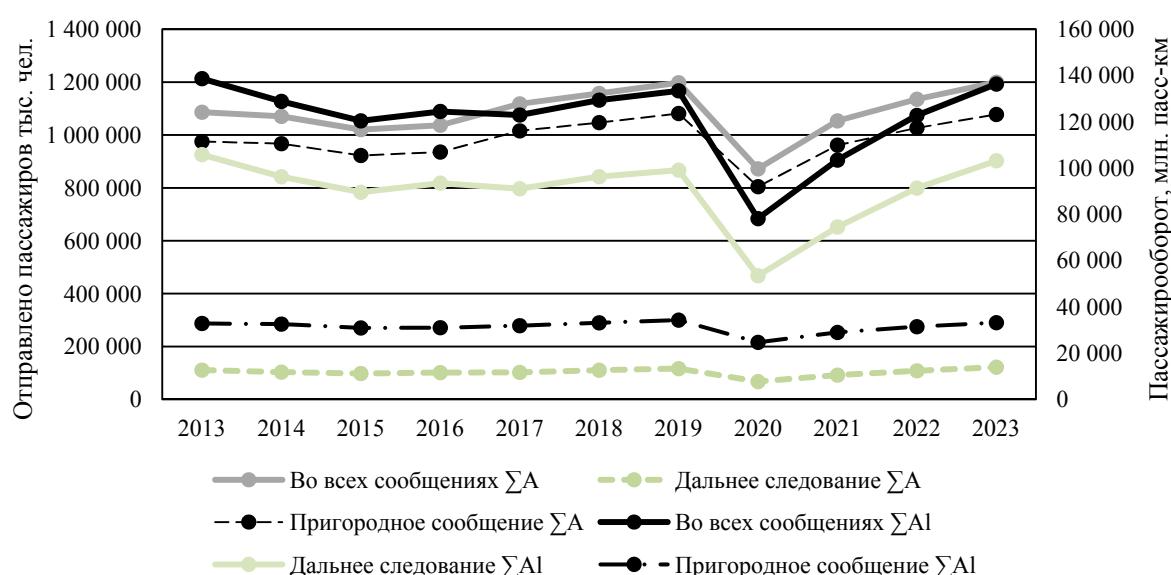


Рис. 1. Динамика показателей работы железнодорожного транспорта в разрезе видов пассажирского сообщения за период 2013-2023 гг.

Проводя периодизацию временного ряда пассажирских перевозок, можно выделить следующие интервалы в динамике пассажиропотока [2].

Учитывая низкий уровень размаха вариации временного ряда пассажиропотока, в период с 2013 г. по 2019 г. прослеживается медленная тенденция к падению пассажирооборота в дальнем следовании и росту объёма отправленных пассажиров в пригородном сообщении (см. рис. 1).

Спад пассажирооборота в дальнем следовании на 63,54 % в 2014 г., по сравнению с 2013 г., произошел в результате роста тарифов и изменению геополитической ситуации, что привело к падению объёмов перевозок, в частности и в межгосударственном сообщении [4, 10].

На пригородное сообщение политический фактор существенного влияния не оказал, однако имеет место масштабное сокращение маршрутной сети в 2015 г. в связи с недофинансированием перевозчиков со стороны регионов, изменением льготной ставки по тарифу на услуги инфраструктуры железнодорожного транспорта и отказом в заключении договоров на транспортное обслуживание населения некоторыми субъектами РФ [11, 13]. Отмена движения пригородных пассажирских поездов особенно выражена в регионах обслуживания таких ППК, как АО «Волго-Вятская ППК», АО «ППК Черноземье», АО «Северная ППК», АО «Московско-Тверская ППК», АО «Забайкальская ППК». Кризис имел кратковременный характер, ввиду принятия ряда мер по восстановлению движения поездов в первом квартале 2015 г. Так, в общей динамике сегмента пригородных пассажирских перевозок произошло снижение пассажирооборота на 5,17 % и числа отправленных пассажиров на 4,62% относительно 2014 г. [11].

В 2020 г. наблюдается резкое сокращение по каждому индикатору пассажиропотока: более чем на 25 % по пригородным и 40 % по дальним железнодорожным перевозкам. Основным фактором, вызвавшим значительное отклонение по всем видам сообщения, выступает распространение коронавирусной инфекции и, как следствие, государственные ограничения на перевозки пассажиров, спад транспортной подвижности населения [11].

Последствия пандемии вполне закономерно формируют третий интервал – 2021-2023 гг. фазу восстановления пассажиропотока высокими темпами. Как видно на рис. 1, в настоящее время отмечается выход на уровень 2013 г. По количеству отправленных пассажиров во всех сообщениях превышение в 2023 г. уровня 2013 г. на 10,45 %, также заметно соответствие, близкое к полному, по выполненному пассажирообороту – на 1,68 % ниже в 2023 г. отметки 2013 г.

Так, возникает некоторая последовательность падений и подъемов объёма перевозок и транспортной работы. Тем не менее число локальных экстремумов за период с 2013 по 2023 г. составляет не более 3-4, что

указывает на отсутствие маятниковой или случайной колеблемости и на тенденцию к становлению циклического характера изменений во временном ряду [2].

Исследование

Ситуация, сложившаяся на рынке железнодорожных пассажирских перевозок, требует уточнения, в том числе и с учётом отраслевой структуры и региональных особенностей. Интерпретировать степень единства транспортной среды позволяют показатели транспортной обеспеченности и доступности – основные компоненты оценки территориальной организации транспортного комплекса и обеспечения потребности населения в перевозках [3].

В отличие от статистических данных о числе отправленных пассажиров железнодорожным транспортом, отчетность о величине пассажирооборота в разрезе субъектов РФ в государственной статистике не проводится. Источником информации в дальнем следовании служит внутрифирменная статистическая отчетность ОАО «РЖД». Реформирование блока пригородных пассажирских перевозок и, как следствие создание отдельных компаний, позволили формировать и представлять данные об объеме транспортной работы в разрезе регионов для заинтересованных пользователей в годовых отчетах пригородных компаний. Однако в условиях изменений организационно-правовой формы ППК и санкционных рисков большинство компаний не обеспечивают свободный доступ к данной отчетности, что препятствует расчёту и сопоставлению показателей транспортной обеспеченности по регионам.

Так для целей оценки влияния отраслевой и региональной структуры перевозок на транспортное обслуживание населения и регионов, показательно проведение горизонтального и вертикального анализа индикаторов качества транспортной обеспеченности по сети в целом и в разрезе железных дорог. Для проведения анализа использованы коэффициенты транспортной подвижности населения, выражающие общественно необходимое передвижение граждан и степень сбалансированности развития территорий страны. Статический показатель отражает число перевезённых пассажиров в расчёте на одного жителя региона (см. рис. 2, ф-ла 5). Динамический коэффициент учитывает не только количество отправлений, но и дальность поездки, указывая на объём транспортной работы, приходящийся на одного жителя рассматриваемой территории (см. рис. 2, ф-ла 6) [1, 9, 3, 6, 7]. Транспортную обеспеченность по охвату территории демонстрируют следующие коэффициенты (см. рис. 2, ф-ла 3 и 4).

Результаты расчетов коэффициентов транспортной обеспеченности в дальнем следовании и пригородном сообщении и их медианные значения (Med) по железнодорожным дорогам и федеральным округам за 2013 г. и 2023 г. отражены на рис. 3-18 [10,11,12,13].



Источник: составлено по [1, 9, 3, 6, 7].

Условные обозначения к рис. 2: $\sum A$ – отправлено пассажиров по железной дороге, чел.; $\sum Al$ – пассажирооборот по железной дороге, пасс.-км; Н – численность населения на полигоне обслуживания дороги, чел., S – площадь субъектов РФ в пределах железной дороги, км², П – количество населенных пунктов или муниципальных образований.

Рис. 2. Система расчёта показателей транспортной обеспеченности регионов

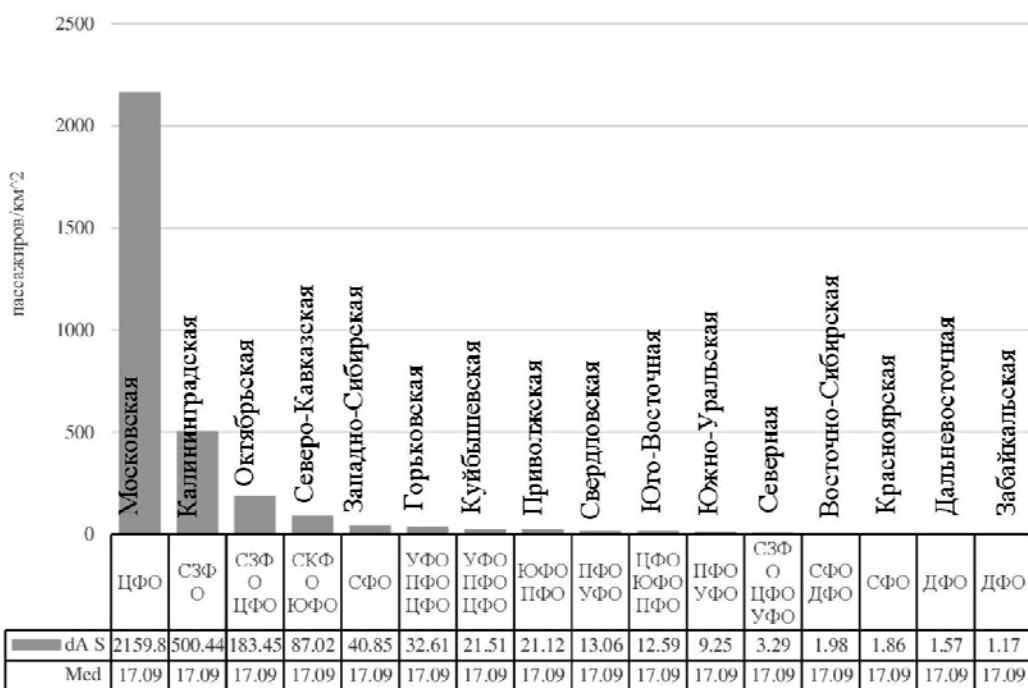


Рис. 3. Транспортная обеспеченность в разрезе железных дорог по числу отправленных пассажиров и площади регионов (d_S^A) за 2023 год (пригородное сообщение).

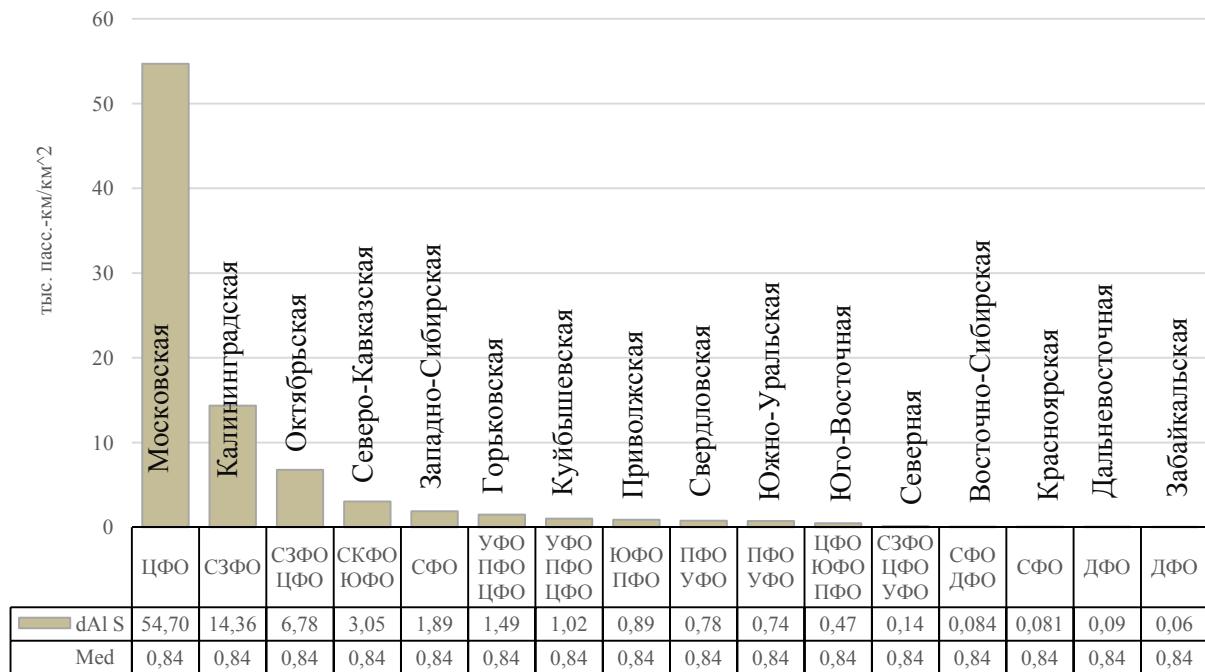


Рис. 4. Транспортная обеспеченность в разрезе железных дорог по пассажирообороту и площади регионов (d_S^{Al}) за 2023 год (пригородное сообщение).

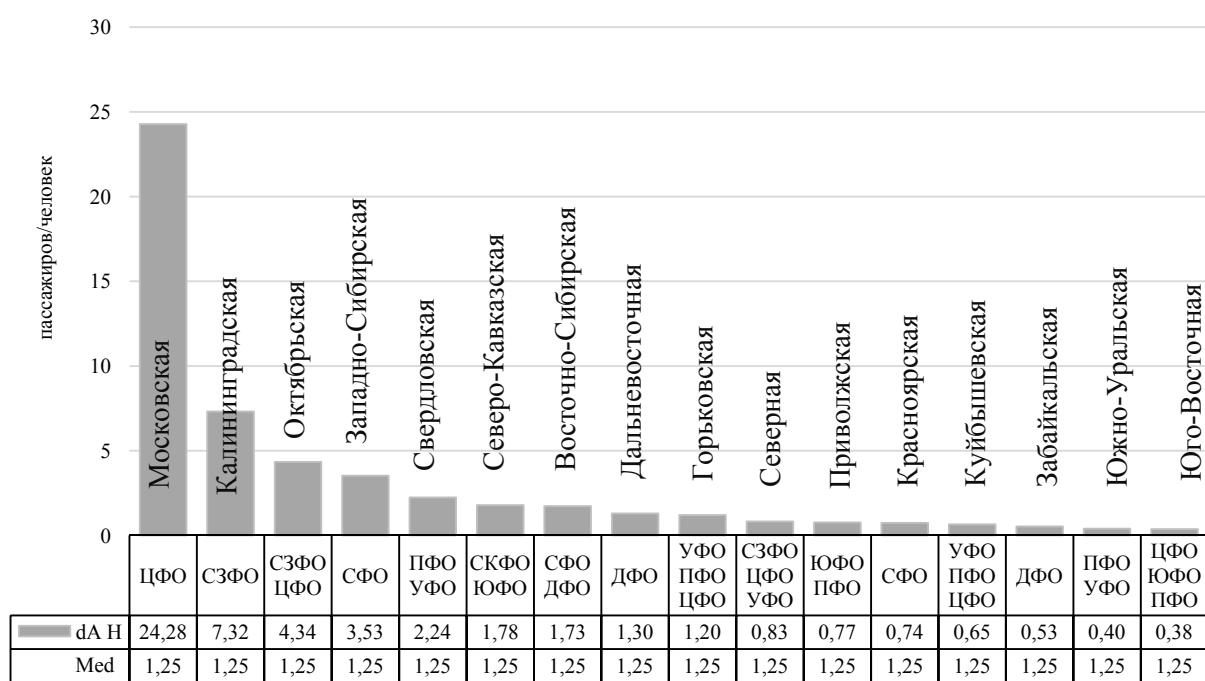


Рис. 5. Транспортная обеспеченность в разрезе железных дорог по числу отправленных пассажиров и численности населения (d_H^A) за 2023 год (пригородное сообщение).

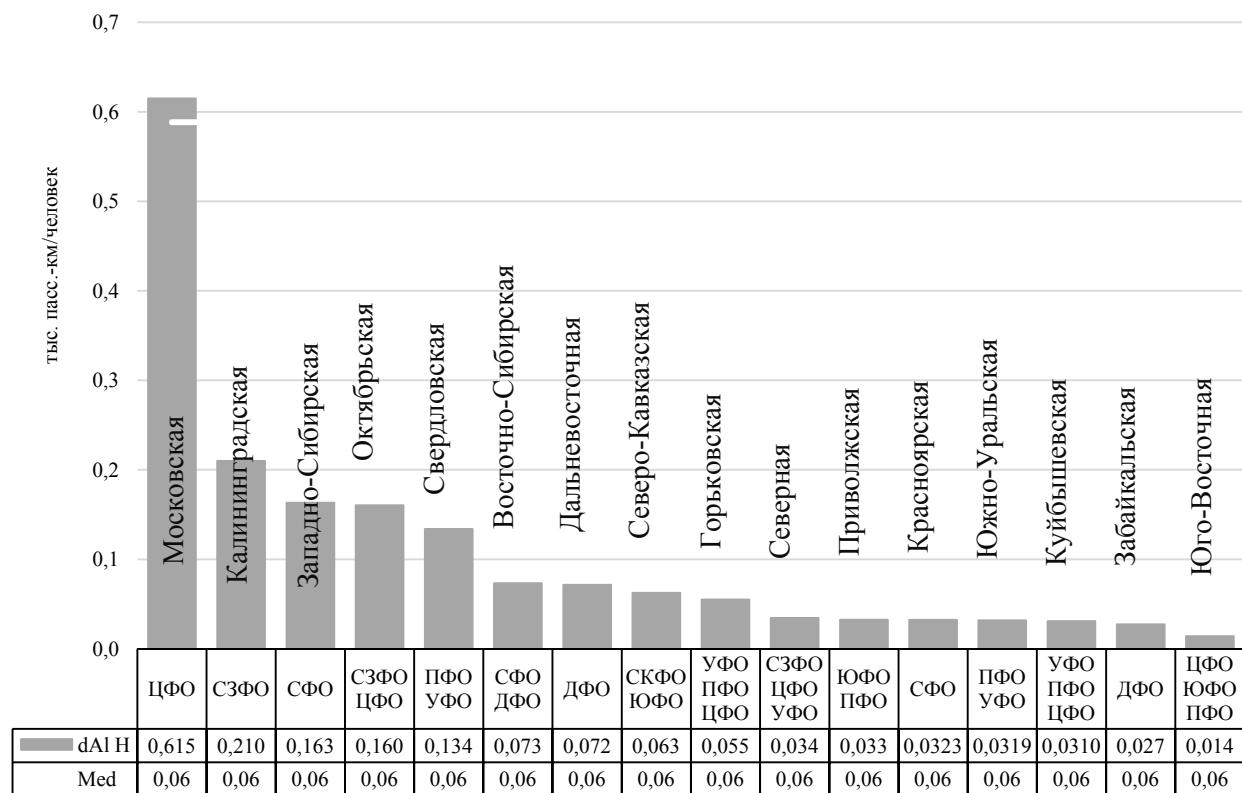


Рис. 6. Транспортная обеспеченность в разрезе железных дорог по пассажирообороту и численности населения (d_H^{AI}) за 2023 год (пригородное сообщение).

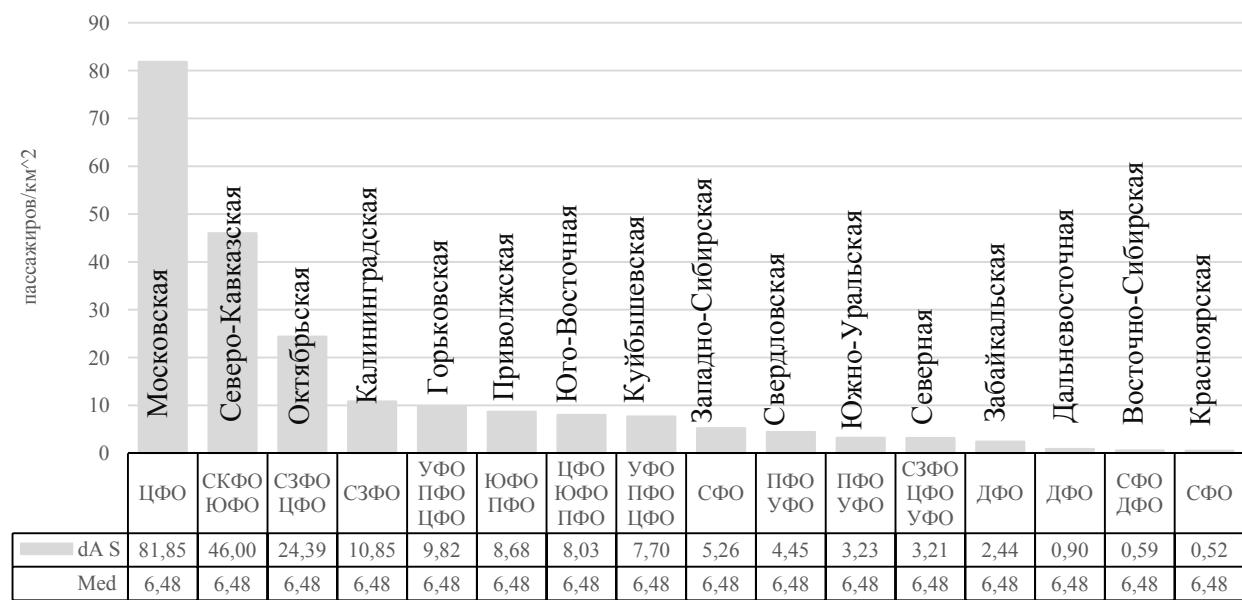


Рис. 7. Транспортная обеспеченность в разрезе железных дорог по числу отправленных пассажиров и площади регионов (d_S^A) за 2023 год (дальнее следование).

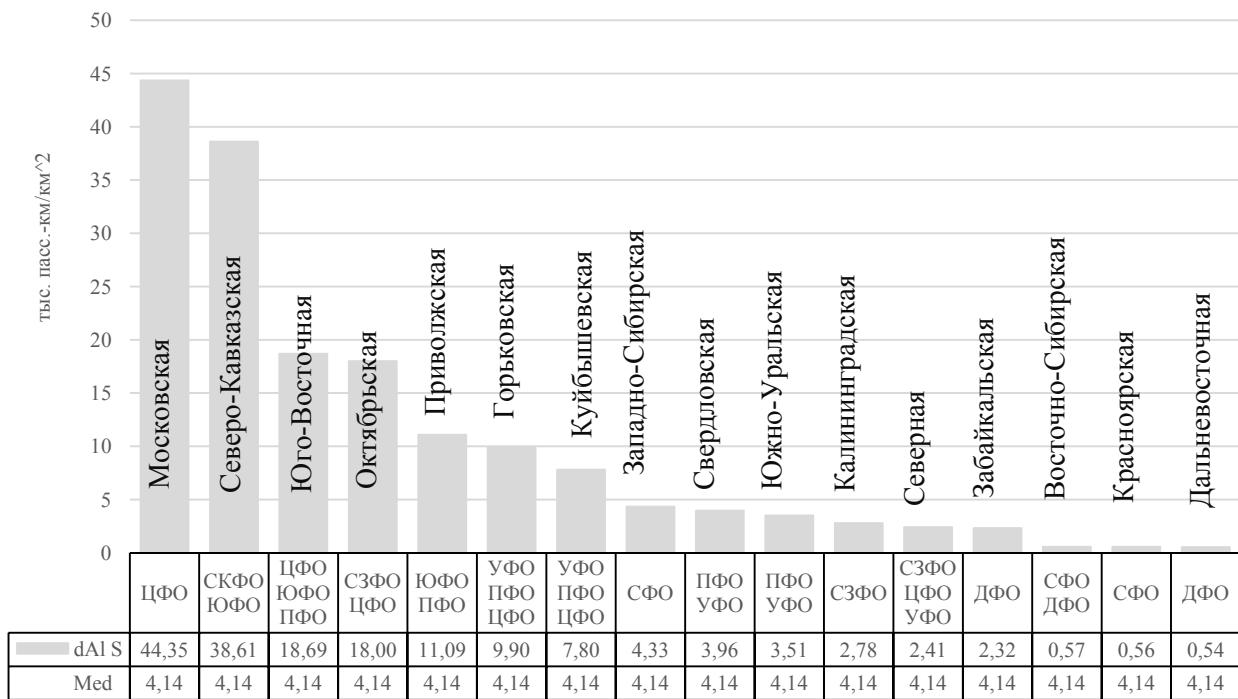


Рис. 8. Транспортная обеспеченность в разрезе железных дорог по пассажирообороту и площади регионов (d_{S}^{Al}) за 2023 год (дальнее следование).

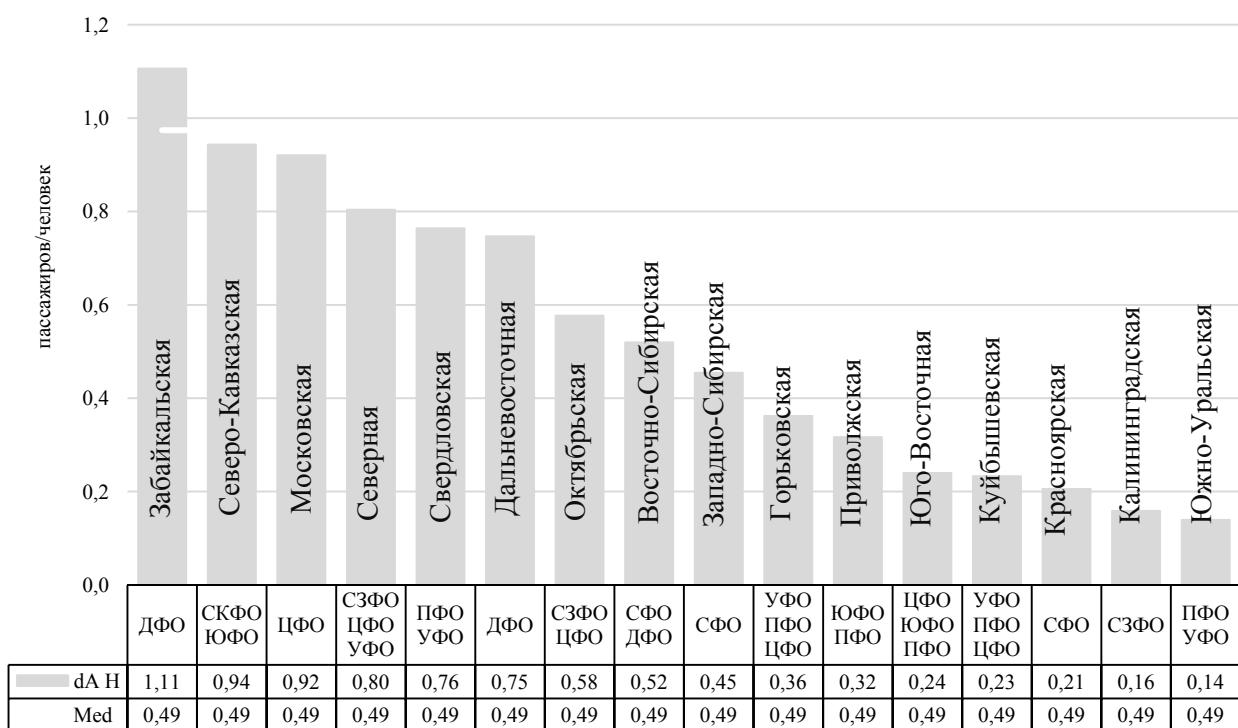


Рис. 9. Транспортная обеспеченность в разрезе железных дорог по отправленным пассажирам и численности населения (d_{H}^A) за 2023 год (дальнее следование).

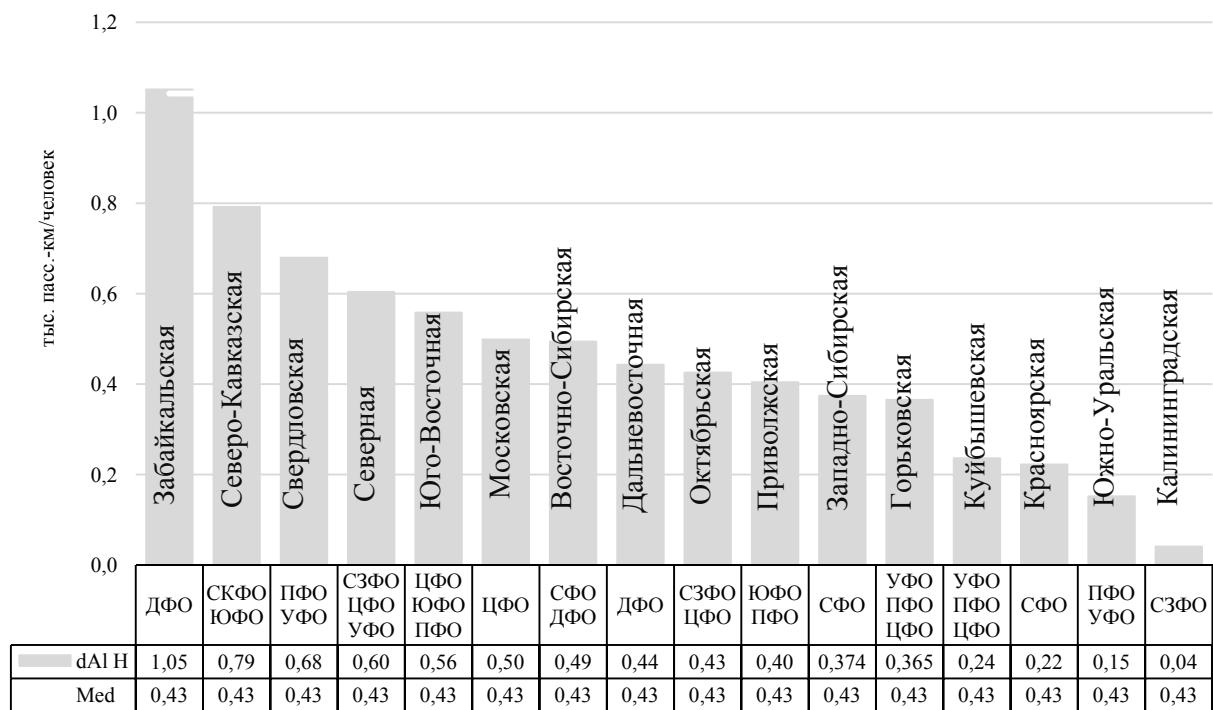


Рис. 10. Транспортная обеспеченность в разрезе железных дорог по пассажирообороту и численности населения (d_H^{Al}) за 2023 год (дальнее следование).

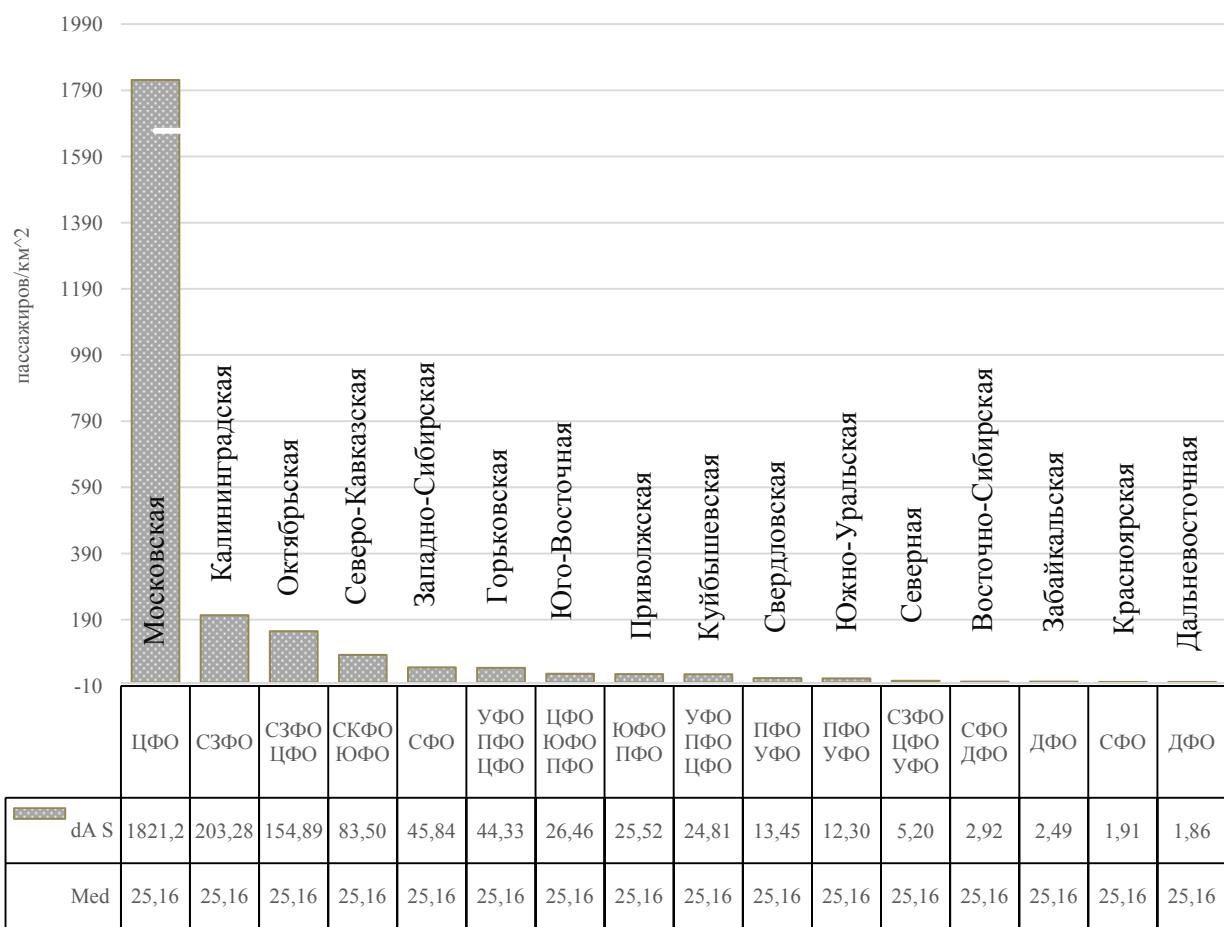


Рис. 11. Транспортная обеспеченность в разрезе железных дорог по числу отправленных пассажиров и площади регионов (d_S^A) за 2013 год (пригородное сообщение).

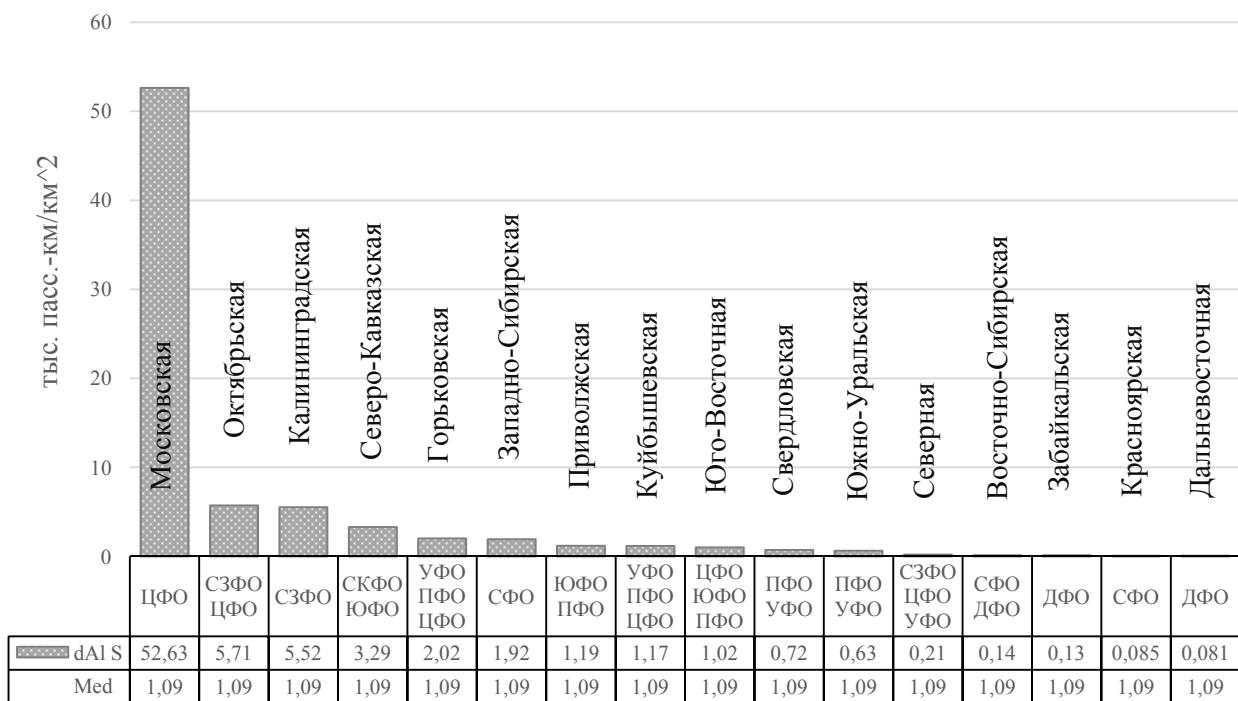


Рис. 12. Транспортная обеспеченность в разрезе железных дорог по пассажирообороту и площади регионов (d_S^{Al}) за 2013 год (пригородное сообщение).

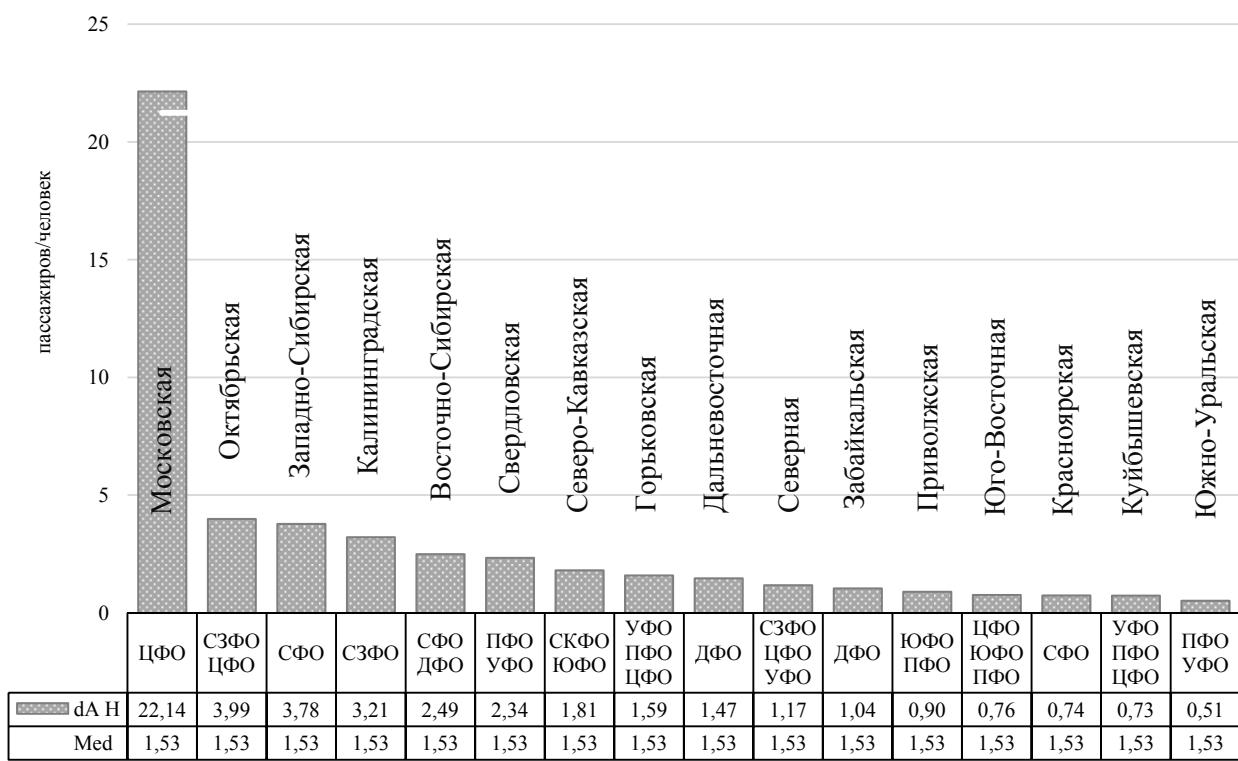


Рис. 13. Транспортная обеспеченность в разрезе железных дорог по числу отправленных пассажиров и численности населения (d_H^A) за 2013 год (пригородное сообщение).

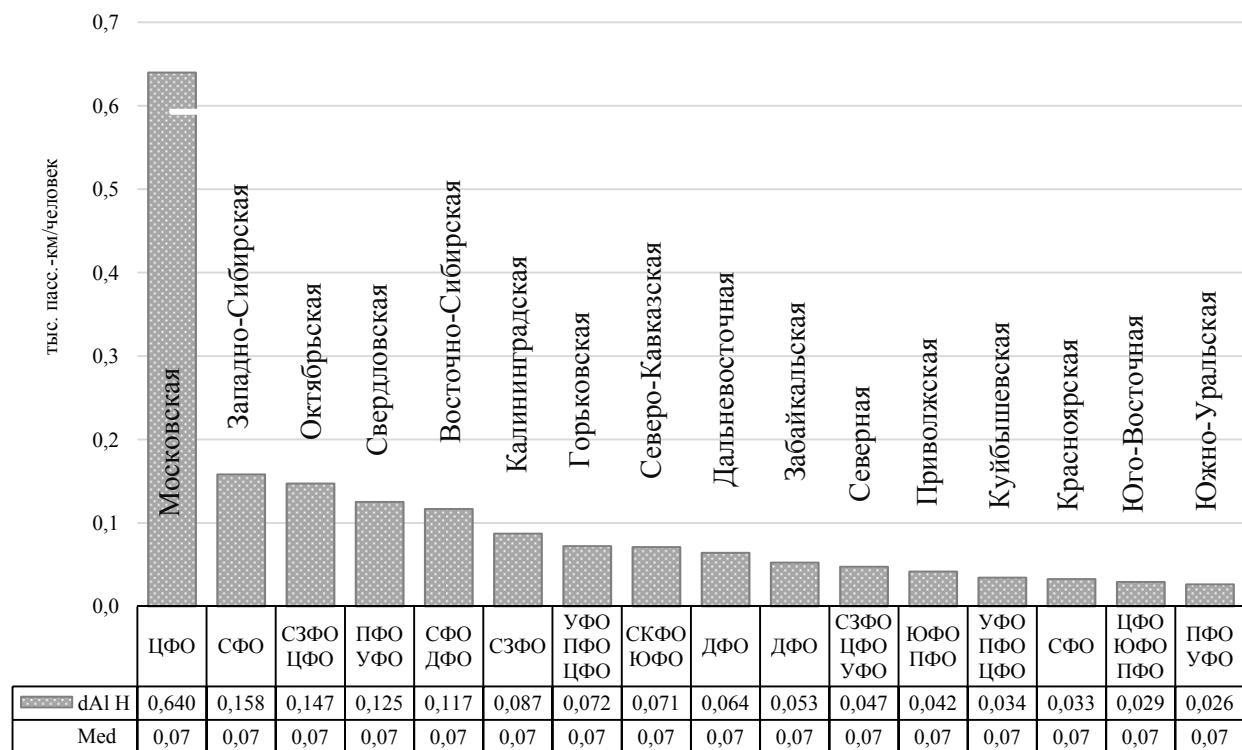


Рис. 14. Транспортная обеспеченность в разрезе железных дорог по пассажирообороту и численности населения (d_H^{Al}) за 2013 год (пригородное сообщение).

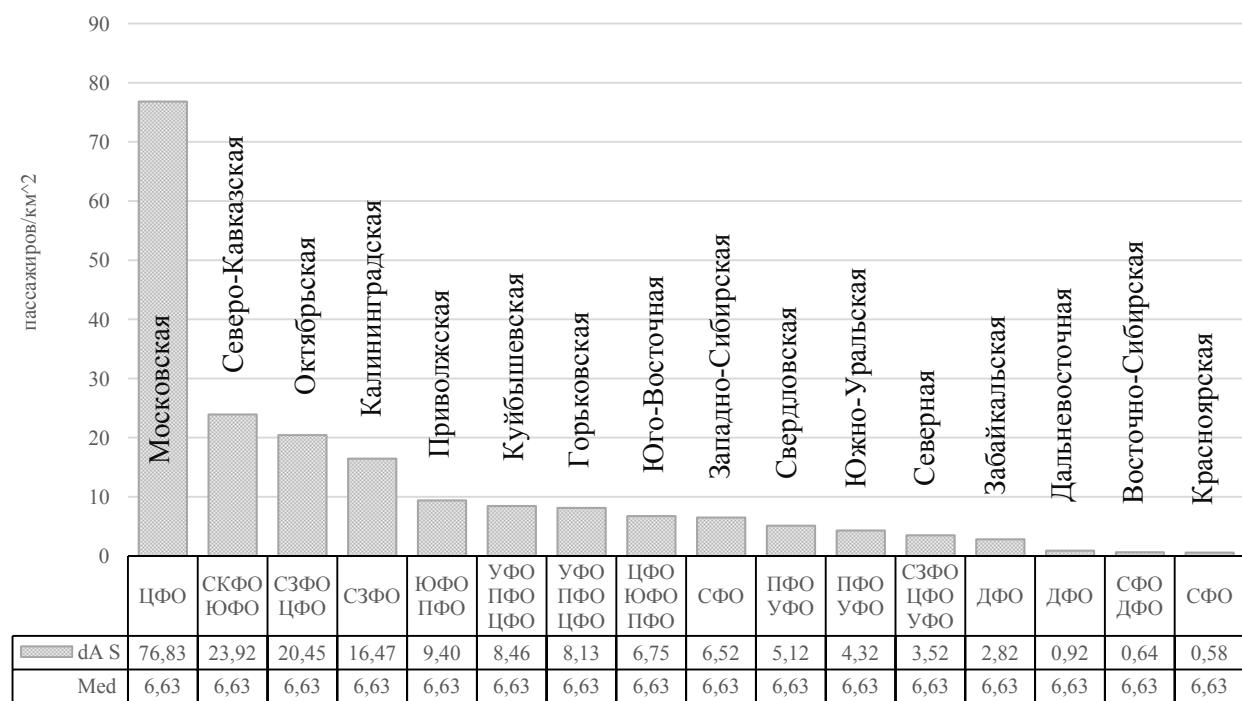


Рис. 15. Транспортная обеспеченность в разрезе железных дорог по числу отправленных пассажиров и площади регионов (d_S^A) за 2013 год (дальнее следование).

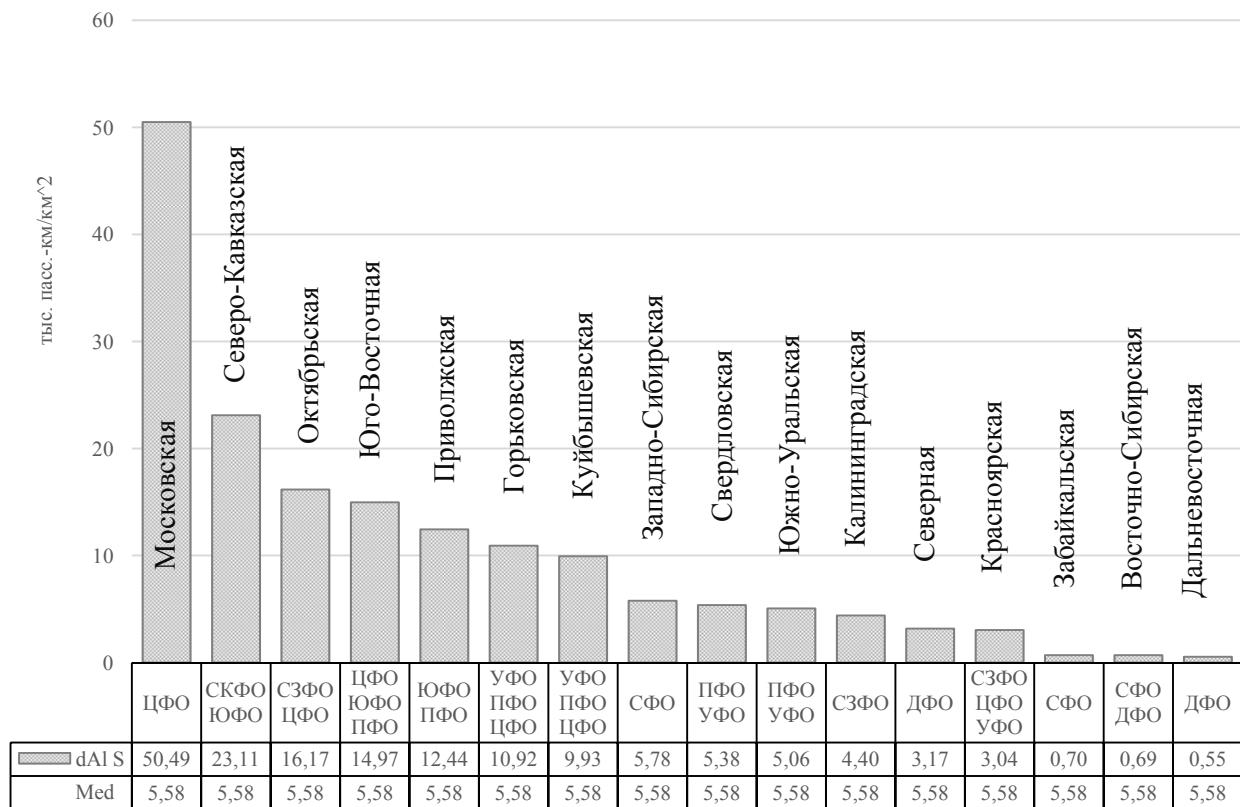


Рис. 16. Транспортная обеспеченность в разрезе железных дорог по пассажирообороту и площади регионов (d_{S}^{AI}) за 2013 год (дальнее следование).

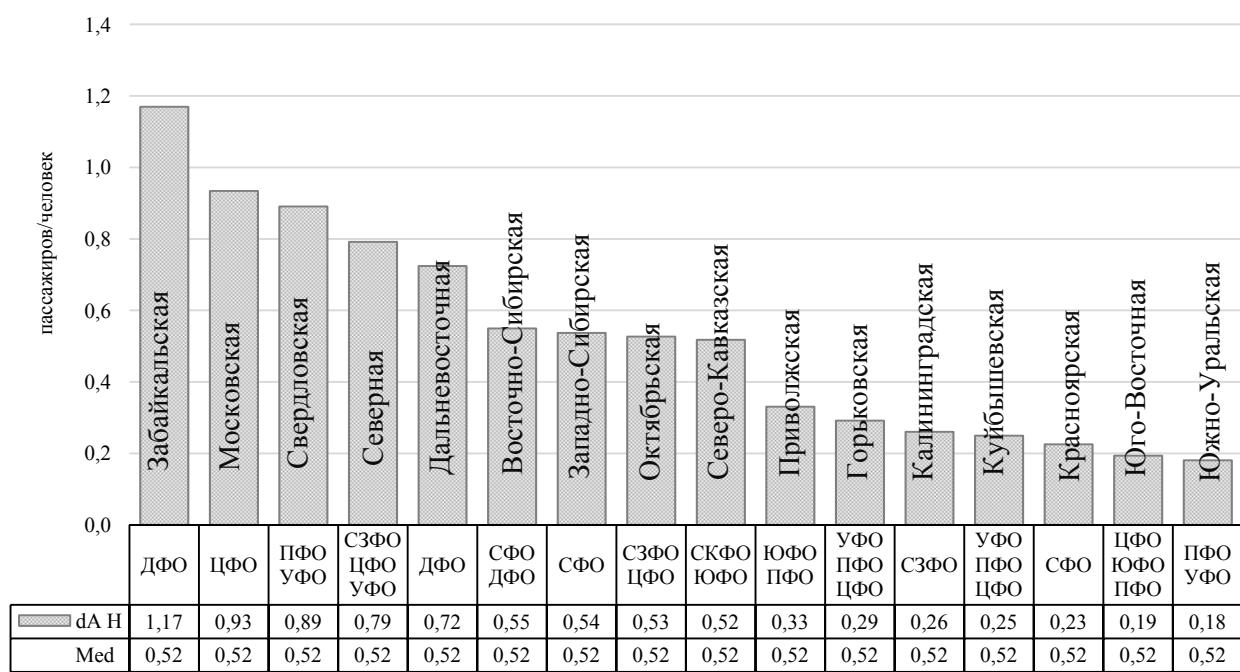


Рис. 17. Транспортная обеспеченность в разрезе железных дорог по числу отправленных пассажиров и численности населения (d_{H}^A) за 2013 год (дальнее следование).

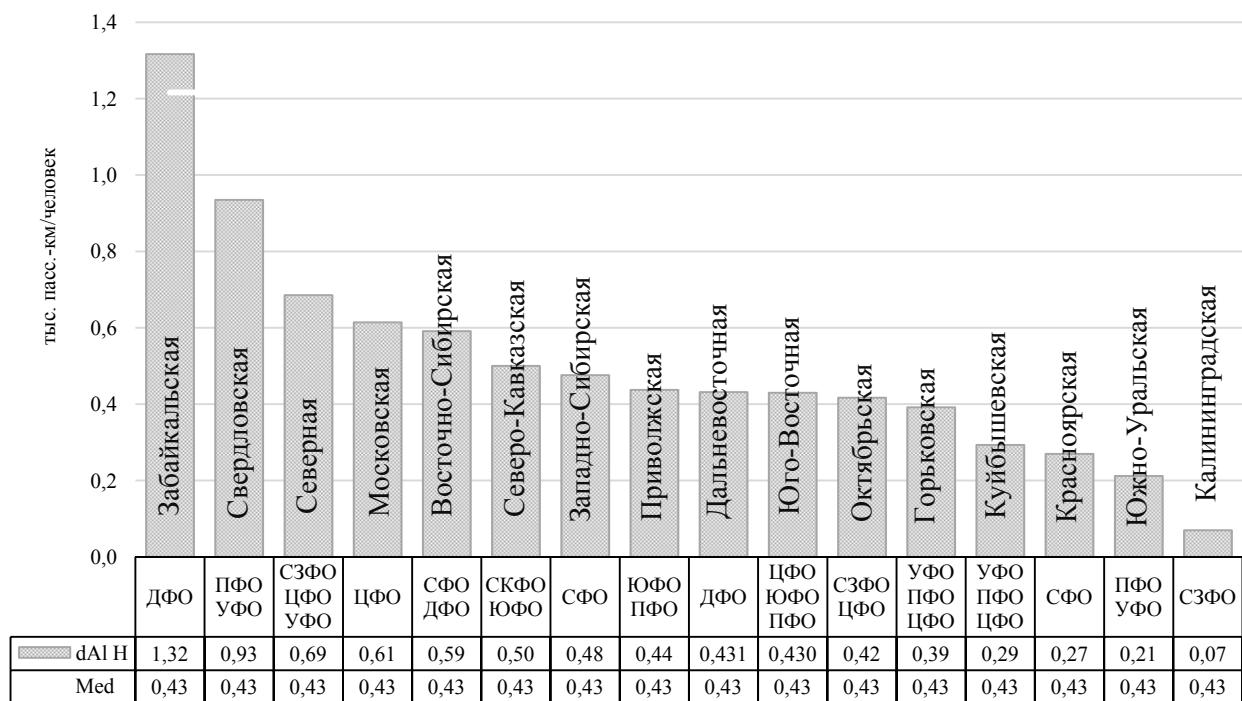


Рис. 18. Транспортная обеспеченность в разрезе железных дорог по пассажирообороту и численности населения (d_H^{Al}) за 2013 год (далее следование).

Ретроспективный анализ коэффициентов транспортной обеспеченности за 2023 г. и 2013 г. позволяет сделать следующие выводы. В пригородном сообщении по всем индикаторам транспортной обеспеченности за 2023 г. доминируют Московская и Калининградская железные дороги, перевозки по которым осуществляют АО «Центральная ППК» и АО «Калининградская ППК» соответственно. В динамике за 10 лет, дислокация Московской железной дороги не изменилась, в отличие от Калининградской, где наблюдается повышение на 2-4 позиции относительно 2013 года (см. рис. 3-6 и 11-14).

Уровень коэффициентов по Московской железной дороге подтверждается высоким «мятниковым» пассажиропотоком в Московской агломерации, а, следовательно, наибольшим удельным весом объема транспортной работы АО «Центральная ППК» [3]. В свою очередь АО «Калининградская ППК» акцентирует внимание на развитие туристического профиля своей деятельности. Учитывается рост рекреационных объектов Калининградской области, что также становится основанием увеличения пассажиропотока в пригородном сообщении. Так, например, после проведения ряда работ по благоустройству исторических центров области, востребованность приобрел внутрирегиональный маршрут Калининград – посёлок Железнодорожный [13].

Анализируя коэффициенты транспортной обеспеченности, при расчете которых используются данные о выполненнем пассажирообороте, в 2023 г. третье место занимает Западно-Сибирская железная дорога, а по объему отправленных пассажиров Октябрьская железная дорога. Позиция Западно-Сибирской дороги обуславливается равноудаленностью субъектов Сибирского федерального округа от восточных и западных регионов. В отношении Октябрьской железной дороги на количество поездок влияет близкое расположение регионов к крупнейшим центрам страны с точки зрения

социально-экономического развития – г. Санкт-Петербург и Ленинградской области.

Сопоставляя результаты ранжирования дорог в пригородном сообщении с дальним следованием, можно отметить снижение дифференциации. Расчет среднеквадратического отклонения [2] по измерителям транспортной обеспеченности показал, что в дальнем следовании мера разброса вариационных рядов ниже, чем в пригородном. Максимальная амплитуда колебаний отмечается по показателю d_S^A рис. 3 и 7 – 522,21 пасс/км² по пригородным и 20,81 пасса/км² по дальним перевозкам, учитывая превышение стандартным отклонением среднего уровня в 2,7 и 1,5 раза соответственно.

Тем не менее в дальнем следовании совокупность сохраняет неоднородный вид. Лидирующие позиции по коэффициентам d_S^A и d_S^{Al} занимают Московская и Северо-Кавказская железные дороги, а по коэффициентам d_H^A и d_H^{Al} явным лидером на протяжении рассматриваемого периода (2013-2023 гг.) остается Забайкальская железная дорога (см. рис. 9-10 и 17-18). В 2023 г. статические и динамические показатели транспортной подвижности по Забайкальской железной дороге отклоняются от среднесетевого уровня в положительную сторону на 32,76 % и 49,28 % соответственно.

Высокий экономически обоснованный уровень тарифа АО «Забайкальская ППК», формируемый в связи со сложными эксплуатационными условиями перевозчика [3], приводит не только к усилению межотраслевой конкуренции – с автобусным и личным автомобильным транспортом, но и образованию внутривидовой – с поездами дальнего следования АО «ФПК». Пере распределение пассажиропотока становится основанием роста объема перевозок в местном сообщении, обуславливая высокие показатели транспортной под-

вижности населения в дальнем следовании на полигоне Забайкальской железной дороги.

Интервалы и линии временных рядов рис. 2, построенные и описанные ранее на основе производственных показателей пассажирского железнодорожного транспорта, сопоставимы с результатами расчёта коэффициентов и практически полностью описывают динамику транспортной обеспеченности и подвижности населения.

Рассматривая фазу распространения коронавирусной инфекции, в пригородном сообщении существенно отклонение (свыше 30 %) по наиболее пассажиронапряжённым дорогам – Октябрьской и Московской. Общий тренд превышения темпов убыли индикаторов транспортной обеспеченности по магистралям европейской части страны, подтверждается тем, что ППК, функционирующие на данной территории, имеют отчётливый вектор развития внутреннего туризма. В период введения карантинных мероприятий было ограничено посещение туристического объектов данных регионов, что способствовало потере основной доли пассажиропотока пригородными перевозчиками [11].

В дальнем следовании ярко выражен спад по Калининградской железной дороге. Наблюдается максимальное отклонение индикаторов относительно 2019 г. – более чем на 75 %. Отрицательный тренд производственных показателей дороги обусловлен изолированным географическим положением региона обслуживания наряду с общим сжатием туристического потока, снижением частоты рейсов, ограничительными мерами Литовской и Белорусской железных дорог по установлению квот на число пассажиров при перевозке транзитом. Ключевым фактором выступила полная отмена дальних перевозок в период с апреля по июнь 2020 г. [13].

Однако интенсивность процессов перемещения по внутренним линиям выше, что обуславливает минимальные потери Калининградской магистрали в секторе пригородных перевозок – в среднем минус 15 % по всем показателям транспортной обеспеченности к уровню 2019 г. В частности, после снятия ограничений на посещение рекреационных зон по Светлогорскому и Зеленоградскому направлениям повышенная туристическая активность населения, отложенный спрос на поездки способствовали восстановлению пассажиропотока и снижению отклонения в объеме перевозок пассажиров [11].

Более устойчивы к изменениям, вызванными эпидемиологическими ограничениями в 2020-2021 гг., оказались дороги Восточного полигона, преимущественно Забайкальская и Дальневосточная. По Дальневосточному федеральному округу (далее – ДФО) отрицательная динамика коэффициентов транспортной обеспеченности минимальна и в дальнем следовании, и в пригородном сообщении. Влияние туристического фактора на железнодорожные перевозки ниже чем в других регионах, в связи с тем, что до распространения пандемии в общей структуре туристических поездок ДФО преобладал выездной туризм – в 2019 г. количество турпакетов, реализованных гражданам РФ по маршруту в другие страны в 7,1 раз выше, чем по направлению в регионы РФ [12].

В последующей фазе временного ряда отмечается изменение траектории туристических потоков ДФО. В 2021 и 2022 гг. наибольший удельный вес принадле-

жит программам по перемещению внутри страны – соответственно в 2,1 и 1,7 раз выше, чем объём турпакетов за рубеж [12]. Обращено внимание на расширение перечня туристических направлений в пределах Дальневосточной железной дороги, например, запущен мультимодальный маршрут «Лыжная стрела» [13]. Так, в постковидный период ориентация Дальневосточной магистрали на туристический сегмент является одним из основных факторов повышения транспортной подвижности населения – прирост коэффициента d_H^A в 2023 г. к уровню 2020 г. составил 58,36 % в дальнем следовании и 34,10 % в пригородном сообщении.

Другим основанием, вызывающим масштабное перемещение населения железнодорожным транспортом, является деловая активность. Примечателен характер движения занятого населения – внутри региона или выезд за его пределы. Структурно наибольший удельный вес межрегиональных трудовых миграций приходится на Центральный и Приволжский федеральные округа (далее – ЦФО и ПФО) – 47,16 % и 22,6 3% в 2019 г. [7, 12].

Поскольку фактор имеет прямую связь с уровнем транспортной подвижности населения, в период снижения мятниковой и вахтовой миграции населения группу с выраженным сокращением индикаторов формируют дороги, регионы обслуживания которых входят в ЦФО и ПФО. Следовательно, в 2020 г. наибольшее отклонение показателей d_H^A и d_H^{AL} во всех видах сообщения отмечено по Горьковской, Юго-Восточной, Приволжской, Куйбышевской, Южно-Уральской железным дорогам.

В регионах, удаленных от крупнейших центров концентрации населения, объем трудовых миграций ниже общероссийского уровня, что подтверждает отставание темпов убыли показателей транспортной подвижности по Дальневосточной и Забайкальской железным дорогам в 2020 г.

Заключение

Таким образом, могут быть сформулированы следующие выводы. Воздействия факторов внешней среды (эпидемиологические ограничения, внешнеполитические факторы), как правило, происходит в условиях неопределенности и риска. Максимальное падение уровня транспортной подвижности населения прослеживалось в крупных регионах и городах, по дорогам с большими объемами работы. Обширный перечень государственных ограничений привел к снижению транспортной доступности, следовательно, существенной реакции дорог на изменение мобильности населения. Главным образом превышение темпов убыли относительных показателей отмечено в европейской части страны.

В настоящее время продолжается период восстановления пассажиропотока: по числу отправленных пассажиров в пригородном сообщении девять железных дорог вышли на уровень 2019 г., по пассажирообороту в дальнем следовании – лишь пять магистралей.

Имеет место значительная дифференциация железнодорожных дорог и федеральных округов по транспортной обеспеченности и доступности. В динамике за 10 последних лет с 2013 по 2023 гг. сохраняется отставание

магистралей с низким пассажиропотоком от среднесетевого уровня. Устойчиво среднее положение по всем индикаторам транспортной обеспеченности занимают Горьковская и Приволжская железные дороги. Примечательно, что в абсолютном выражении основная нагрузка по объёмным показателям пассажиропотока в дальнем следовании приходится на Октябрьскую, Московскую и Северо-Кавказскую железные дороги, однако с точки зрения результатов расчета коэффициентов транспортной подвижности населения заметно отклонение от сложившейся структуры распределения железных дорог. Лидирующая позиция по отношению пассажирообороту в дальнем следовании к численности населения у Забайкальской железной дороги.

Для смягчения географической неравномерности пассажирских перевозок и адаптации к изменению направления пассажиропотоков необходимо обеспечить дальнейшее развитие туристического сегмента перевозок, в частности регионы обслуживания железных дорог Восточного полигона [14,15].

Число факторов, которые оказывают влияние на пассажиропоток, гораздо больше рассмотренных в данной статье. Значительная их часть малоизучена и требует дополнительной классификации. По мнению авторов, заслуживает отдельного внимания регуляторная модель транспортного комплекса. Дело в том, что именно в период пандемии, а затем специальной военной операции, существенно менялись «правила игры», которые устанавливали регуляторы. С позиций Новой институциональной экономической теории это и есть фактор тренда в оценке динамики пассажирооборота. Такой совокупности факторов ещё подробно не рассматривали в отечественной экономике транспорта.

Проведенный структурно-динамический анализ коэффициентов транспортной обеспеченности регионов и железных дорог служит основой для дальнейших исследований в области построения методологии оценки эффективности транспортного обслуживания населения, построения классификаций и агрегирования дорог в укрупненные сегменты.

© Подсорин В. А., Буровцев В. В., Кобылицкий А. Н., Куранова А. А., 2024.

Список источников

1. О Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. – Утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 года № 3363-р // Справочно-правовая система «Консультант Плюс» / Компания «Консультант Плюс». – URL: <http://www.consultant.ru>. (дата обращения 05.04.2024).
2. Афанасьев, В. Н. Анализ временных рядов и прогнозирование : учебник / В. Н. Афанасьев; Ай Пи Ар Медиа – Саратов, Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : 2020. – 286 с.
3. Терёшина, Н. П. Управление конкурентоспособностью железнодорожных перевозок / Н. П. Терёшина, А. В. Шобанов, А. В. Рышков. – Москва : ВИНТИИ РАН, 2005. – 237 с.
4. Управление спросом на железнодорожные перевозки и проблемы рыночного равновесия: монография / Соколов Ю.И. и др.; под ред. Ю.И. Соколова. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2015. – 320 с.
5. Шнейдер, М. А. Рынок пригородных железнодорожных перевозок: управление и экономика: монография / М. А. Шнейдер, Е. А. Проскурякова. – СПб.: Издательство ООО «НП-Принт», 2012. – 288 с.
6. Серова, Н. А. Особенности развития рынка транспортных услуг в Российской Арктике / Н. А. Серова // Вестник Сургутского государственного университета. – 2021. – № 2(32). – С. 51-57;
7. Шкурина, Л. В. Теоретико-методологические основы финансирования транспортной инфраструктуры регионов / Л. В. Шкурина, Т. В. Воблова, С. Н. Беряков // Экономика и предпринимательство. – 2019. – № 2(103). – С. 381-383;
8. Оценка распределения субсидий в пригородном пассажирском комплексе России на основе технико-экономического обоснования результатов его деятельности / В. А. Подсорин, В. В. Буровцев, А. Н. Кобылицкий, А. А. Куранова // Транспортное дело России. – 2023. – № 6. – С. 202-205.
9. Подсорин, В. А. Развитие рынка пассажирских железнодорожных перевозок в Дальневосточном федеральном округе / В.А. Подсорин, А.Н. Кобылицкий, А.А. Куранова // Транспортное дело России. – 2023. – № 3. – С. 187-190.
10. Годовой отчёт акционерного общества «Федеральная пассажирская компания» за 2014 год // Центр раскрытия корпоративной информации ЗАО «ИА Интерфакс». – URL: <https://www.e-disclosure.ru> (дата обращения 25.03.2024).
11. Центр раскрытия корпоративной информации ЗАО «ИА Интерфакс». URL: <https://www.e-disclosure.ru> (дата обращения 22.03.2024).
12. Федеральная служба государственной статистики Российской Федерации (Росстат) : официальный сайт. – URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport> (дата обращения 09.04.2024).
13. Официальный сайт ОАО «РЖД». – URL: <https://company.rzd.ru/> (дата обращения: 10.04.2024).
14. Колесников И.Н. В интересах пассажиров / И.Н. Колесников // Железнодорожный транспорт. – 2024. – № 3. – С. 12-17.
15. Bardal', A. B. The Potential for Integration of the Transport Complex of the East of Russia into the International Market of Transport Services / A. B. Bardal' // Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast. – 2019. – Vol. 12, No. 6. – P. 150-165.
16. Enoch M.P., Cross R., Potter N., Davidson S., Taylor S., Brown R., Huang H., Parsons J., Tucker S., Wynne E., Grieg D., Campbell G., Jackson A., Potter S. Future local passenger transport system scenarios and implications for policy and practice // Transport Policy. 2020. Vol. 90. Pp. 52-67.
17. Wang Q. Xu GM. Deng LB et al (2022) Optimization model of urban rail transit subsidies based on travel distance. J Railw Sei Eng. <https://DOI: 10.19713/j.cnki.43-1423/u.t20221349>.

Информация об авторах

Подсорин В.А. - доктор экон. наук, профессор, профессор кафедры «Экономика и управление на транспорте», Российский университет транспорта (РУТ - МИИТ);

Буровцев В.В. - доктор. экон. наук, доцент, профессор кафедры «Менеджмент», Дальневосточный государственный университет путей сообщения (ДВГУПС);

Кобылицкий А.Н. - кандидат экон. наук, доцент, доцент кафедры «Экономика и коммерция», Дальневосточный государственный университет путей сообщения (ДВГУПС);

Куранова А.А. - студент, Дальневосточный государственный университет путей сообщения (ДВГУПС).

Information about the author

Viktor A. Podsortin - Doctor (Econ.), Professor of the Economics and Management in Transport chair, Russian University of Transport (RUT)

Vladimir V. Burovtsev - Doctor (Econ.), Professor of the Management chair, Far Eastern State Transport University (FESTU);

Andrey N. Kobylitsky - Ph.D. (Econ.), Associate Professor of the Economics and Commerce chair, Far Eastern State Transport University (FESTU);

Anastasia A. Kuranova - student, Far Eastern State Transport University (FESTU).

Статья поступила в редакцию 10.05.2024, одобрена после рецензирования 14.06.2024, принята к публикации 11.07.2024.

The article was submitted 10.05.2024, approved after reviewing 14.06.2024, accepted for publication 11.07.2024.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors' contribution: All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The authors declare that there is no conflict of interest.

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ

Научная статья

УДК 629.4.014.3/004.94

DOI: 10.36535/0236-1914-2024-09-5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОПЕРЕЧНОГО СМЕЩЕНИЯ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ ГРУЗА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ВАГОНА В КРИВОМ УЧАСТКЕ ПУТИ

Сергеев Иван Константинович

sergeev.workmail@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8910-7573>

Пищик Александр Всеолодович

alexander.p96@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3100-691X>

(Российский университет транспорта, Москва, Россия)

Аннотация: В статье выполнено моделирование процесса прохода кривой малого радиуса полувагоном с грузом. Моделирование произведено с помощью программного комплекса «SIMPACK». Раскрыт подход к формированию компьютерной модели в данном программном комплексе с указанием применённых при моделировании блоков. Приводится краткий анализ критериев оценки устойчивости вагона в рельсовой колее, применяемых в отечественной и зарубежной практике и даны уравнения связи между ними. Получены расчётные зависимости критерия Надаля, свидетельствующие о существенном влиянии поперечного смещения груза на устойчивость вагона. В конце работы поднимается вопрос актуальности продолжения исследования данной проблемы применительно к скоростным грузовым поездам.

Ключевые слова: динамика вагона, груз, критерий Надаля, коэффициент запаса устойчивости, SIMPACK

Для цитирования: Сергеев И. К., Пищик А. В. Исследование влияния поперечного смещения центра тяжести груза на устойчивость вагона в кривом участке пути // Научный информационный сборник. Транспорт: наука, техника, управление. 2024. № 9. С. 41-48. DOI: 10.36535/0236-1914-2024-09-5.

RAILWAY TRANSPORT

Scientific article

INVESTIGATION OF THE TRANSVERSE DISPLACEMENT EFFECT OF THE CARGO CENTER OF GRAVITY ON THE RAILCAR STABILITY IN A CURVED SECTION OF THE TRACK

Sergeev Ivan Konstantinovich

sergeev.workmail@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8910-7573>

Pishik Alexander Vsevolodovich

alexander.p96@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3100-691X>

(Russian University of Transport, Moscow, Russia)

Abstract: The article describes the simulation process of passing a small radius curve by a loaded gondola car. The simulation was performed using the SIMPACK software package. An approach to the formation of a computer model in this software package is disclosed, indicating the blocks used in modeling. A brief analysis of the criteria for assessing the stability of a wagon in a rail track used in domestic and foreign practice is given and the equations of the relationship between them are given. Calculated dependences of the Nadal criterion are obtained, indicating a significant effect of the transverse displacement of the load on the stability of the wagon. At the end of the work, the question of the relevance of continuing the study of this problem in relation to high-speed freight trains is raised.

Keywords: railway vehicle dynamics, cargo, Nadal criterion, safety coefficient, SIMPACK

For citation: Sergeev I. K., Pishik A. V. Investigation of the transverse displacement effect of the cargo center of gravity on the railcar stability in a curved section of the track // Scientific Information Collection. Transport: science, equipment, management. 2024. № 9. P. 41-48. DOI: 10.36535/0236-1914-2024-09-5.

Введение

Железнодорожный транспорт занимает одну из лидирующих ролей по объемам грузовых перевозок. Существует множество конструкций грузовых вагонов, предназначенных для перевозки широкой номенклатуры грузов. Порядок крепления грузов в вагоне определяется нормативной документацией, в перечень которой входят технические условия [1]. Этот документ

устанавливает порядок формирования грузовых отправок в универсальных четырехосных вагонах и контейнерах. Среди множества требований, устанавливаемых данным документом есть одно особое требование, относящееся к расположению центра тяжести груза. Это требование гласит, что центр тяжести груза должен располагаться на линии пересечения продольной и поперечной плоскостей симметрии вагона. Однако если данное условие невыполнимо по объективным причинам, то

продольное и поперечное смещение допускается в пределах, установленных данным документом. Допустимые

значения поперечного смещения центра тяжести груза представлены в таблице 1.

Таблица 1

Допустимые значения поперечного смещения центра тяжести груза согласно требованиям [1].

Масса груза, т	Высота общего центра тяжести вагона с грузом над уровнем головки рельса, мм	Максимально допустимое поперечное смещение центра тяжести, мм	Масса груза, т	Высота общего центра тяжести вагона с грузом над уровнем головки рельса, мм	Максимально допустимое поперечное смещение центра тяжести, мм
менее 10	менее 1200	620	55	менее 1500	220
	1500	550		2000	170
	2000	410		2300	150
30	менее 1200	550	67	менее 1500	180
	1500	450		2000	140
	2000	350		2300	120
	2300	290			
50	менее 1200	350	более 67	менее 2300	100
	1500	280			
	2000	250			
	2300	200			

Из таблицы 1 следует, что при самых неблагоприятных условиях разрешается размещать груз с поперечным смещением, не превышающим 100 мм. С точки зрения механики это означает, что характер динамического поведения вагона с грузом в рельсовой колее изменится и невозможно будет исключить возникновение особой ситуации, которая при неблагоприятном стечении прочих факторов может явиться причиной аварии. Таким образом, исследование влияния поперечного смещения груза на безопасность движения вагона является актуальной задачей.

Грузовой вагон представляет собой достаточно сложную механическую систему, предсказать поведение которой в состоянии движения является трудной задачей, требующей научного подхода. Для решения задач подобного рода в последние годы всё большее число исследователей и энтузиастов обращается за помощью к программным комплексам (ПК), имеющим в своём арсенале встроенные специализированные железнодорожные модули. Такой подход позволяет сконцентрироваться на разработке, отладке и испытаниях самой модели, не тратя время на создание пользовательского интерфейса, программирование численных методов решения дифференциальных уравнений и др. К числу популярных программных комплексов, завоевавших мировую популярность и признание, относится «SIMPACK» [2]. «SIMPACK» является средой разработки моделей механических систем. Этот программный продукт обладает весьма удобным пользовательским интерфейсом, а также большим набором компонентов и модулей, к числу которых относится модуль «SIMPACK Rail», представляющий собой совокупность силовых элементов и шаблонов, предназначенных для создания моделей железнодорожной техники. Стоит отметить, что в этом программном комплексе у пользователя есть возможность подключать свои библиотеки и компоненты, а также есть возможность написания сценариев (скриптов), что иногда бывает полезно при исследовании. Многочисленные труды отечественных и зарубежных специалистов сферы железнодорожного

транспорта свидетельствуют о высоком качестве данного продукта, а также о пригодности использования его в качестве инструмента оценки динамических качеств подвижного состава [3].

Для решения поставленной в работе задачи авторами была сформирована компьютерная модель полурамы вагона модели 12-9788-01, при этом использовалась трехмерная модель, сделанная в программном комплексе твердотельного моделирования «КОМПАС-3D» при помощи технической документации на полураму. Общий вид модели представлен на рис. 1.

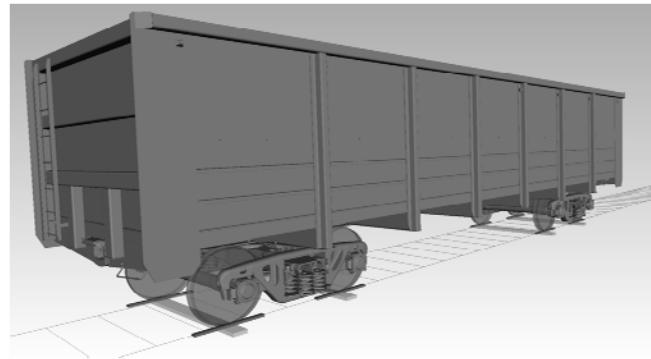


Рис. 1. Общий вид компьютерной модели полурамы вагона 12-9788-01

Выбор силовых элементов, ограничителей и шарниров, задание их параметров, а также выбор геометрии контакта колеса и рельса было выполнено с использованием часто применяющихся на практике подходов для создания компьютерных моделей железнодорожной техники [4, 5] с учётом параметров реального объекта, полученных в результате анализа его технической документации. Полный список использованных блоков представлен в таблице 2. Формирование полной компьютерной модели было выполнено с использованием метода подсистем. Суть этого метода заключается в создании обособленных моделей основных узлов конструкции и дальнейшей сборки модели с их использованием.

Перечень блоков ПК SIMPACK, использованных в модели

Программное обозначение блока	Вид блока	Номер блока	Область применения блока
Wheel/Rail Track Sleeper	Шарнир (Joint)	№91	Служит для связи верхнего строения пути с базовой системой координат
General Rail Track Joint	Шарнир (Joint)	№7	Служит для связи твердого тела, входящего в состав движущегося экипажа с базовой системой координат
0 Degrees of Freedom	Шарнир (Joint)	№0	Шарнир с 0 степеней свободы, жестко связывает фиктивное тело груза и кузов
Rail Track Ballast Cmp	Силовой элемент (Force Element)	№99	Служит для расчёта сил, возникающих в упругом подрельсовом основании при движении экипажа
Rail-Wheel Interface	Силовой элемент (Force Element)	№78	Служит для расчёта сил, возникающих в точке контакта колёс с рельсами
Spring-Damper Parallel Cmp	Силовой элемент (Force Element)	№5	Служит для расчёта сил между двумя точками, с учетом упругости, диссиpации и опциональных зазоров
Stick-Slip 2D Cmp	Силовой элемент (Force Element)	№194	Служит для расчёта сил трения между двумя маркерами
Shear Spring Cmp	Силовой элемент (Force Element)	№79	Служит для расчёта сил в витых пружинах
User defined	Ограничитель (Constraint)	№25	Служит для отключения лишних степеней свободы пары тел

Общая схема модели представлена на рис. 2.

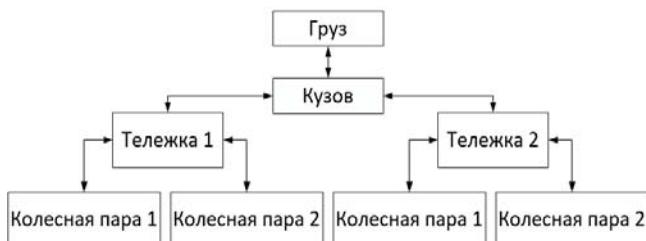


Рис. 2. Общая схема модели вагона

Модель колесной пары выполнена отдельно и находится в основании всей модели. В этой модели настроено взаимодействие с рельсами и подрельсовым основанием, заданы профили колёс и рельс, а также настроена передача сил от подшипниковых узлов на корпуса букс. Расчётная схема модели представлена на рис. 3. На среднем уровне модели находятся модели тележек. В их состав включены модели низшего уровня (т.е. модели колёсных пар), выполнено увязывание всех тел с помощью силовых элементов, а также применены особые ограничители типа User Defined для отключения лишних степеней свободы у тел надрессорных блоков (рис. 4).

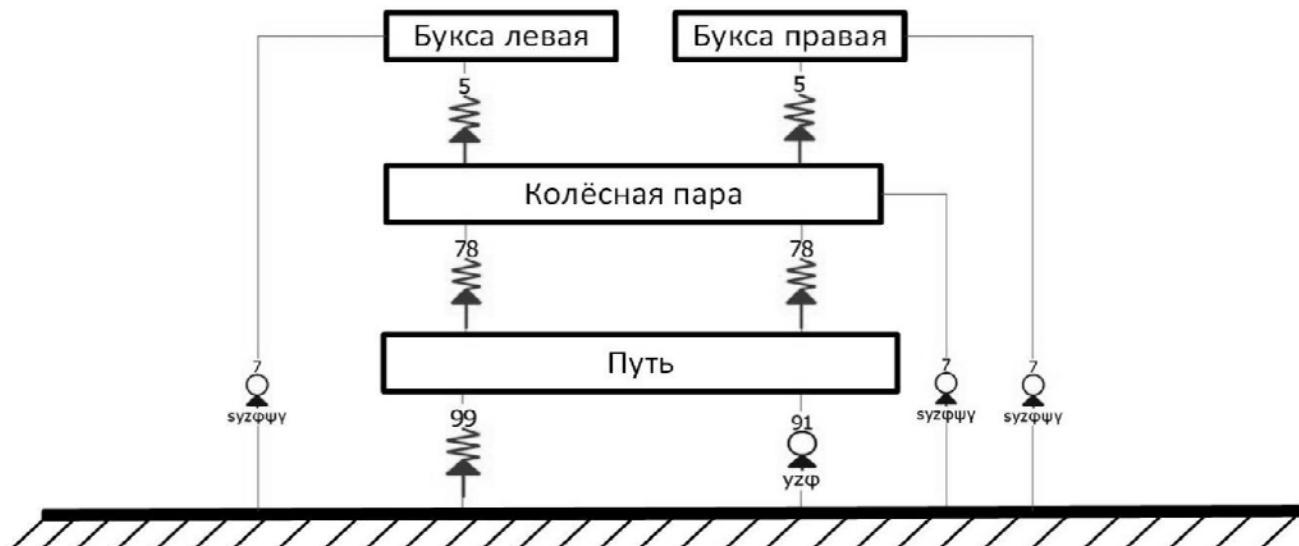


Рис. 3. Расчётная схема модели колёсной пары

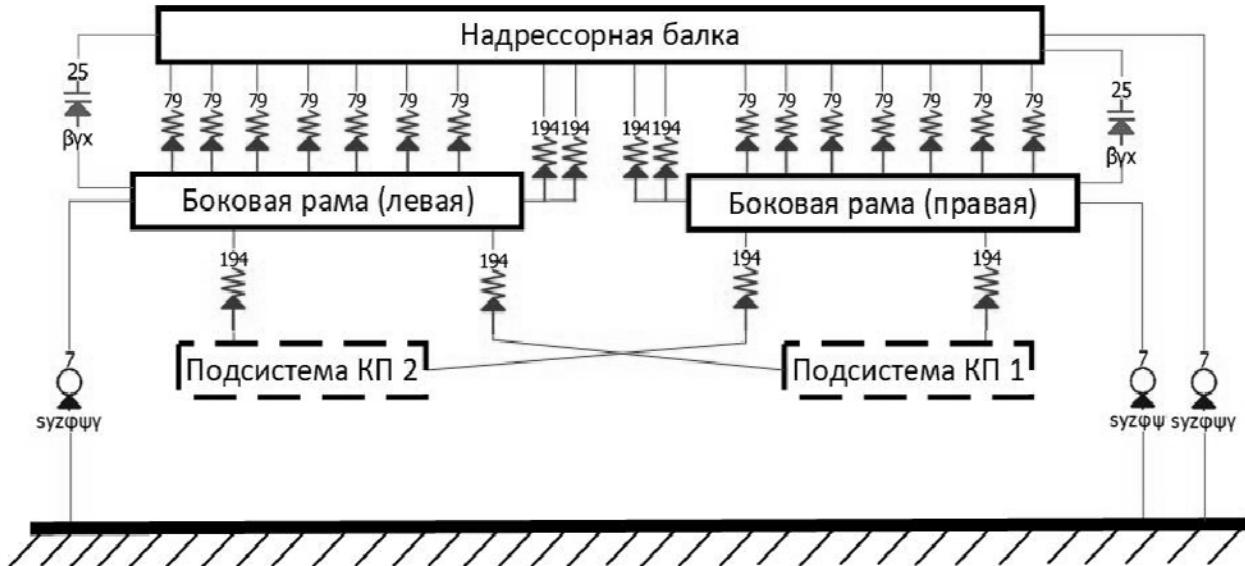


Рис. 4. Расчётная схема модели тележки

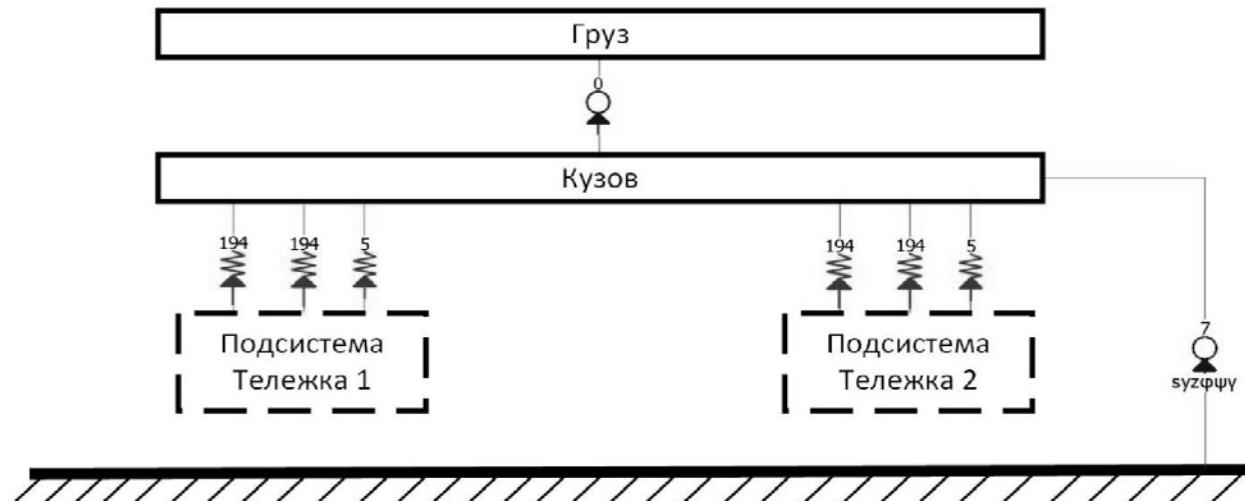


Рис. 5. Расчётная схема модели вагона

На верхнем уровне располагается модель кузова вагона, жестко связанная с грузом путем шарнира с нулём степеней свободы. Модели тележек связаны с кузовом с помощью силовых элементов №5, моделирующих опирание кузова на тележку в узле пятника и силовых элементов №194, моделирующих взаимодействие в скользунках (рис. 5). Подробное описание математической модели каждого блока представлено в документации на программный комплекс [10].

После завершения этапа формирования компьютерной модели системы твердых тел наступает этап её испытаний. При этом неизбежно возникает необходимость выбора показателя, свидетельствующего о безопасности движения. Одним из самых нежелательных сценариев развития аварийной ситуации является вкатывание гребня колеса на головку рельса и последующий сход. Существуют два распространенных метода оценки недопущения данной ситуации – это оценка по коэффициенту запаса устойчивости и оценка с использованием критерия Надаля. Причем если первый способ свойственен отечественной практике, то второй критерий наиболее часто используется иностранными специалистами [6].

Известное выражение для коэффициента запаса устойчивости выглядит следующим образом:

$$K_{yc} = \frac{\operatorname{tg}\beta - \mu}{1 + \operatorname{tg}\beta \cdot \mu} \cdot \frac{P_B}{P_B}, \quad (1)$$

где β – угол между касательной к поверхности гребня колеса и горизонтально, $\beta = 60^\circ$ [7];

μ – коэффициент трения взаимодействующих поверхностей (колеса и рельса), $\mu = 0,25^\circ$ [7];

P_B – вертикальная составляющая нагрузки на набегающее колесо;

P_B – горизонтальная составляющая динамического давления колеса на головку рельса.

В свою очередь, Критерий Надаля устанавливает следующее правило:

$$\frac{Y}{Q} < \frac{\operatorname{tg}\beta - \mu}{1 + \operatorname{tg}\beta \cdot \mu}, \quad (2)$$

где Y – горизонтальная поперечная сила, приложенная к колесу (т.е. P_B);

Q – вертикальная сила, приложенная к колесу (т.е. P_B).

Учитывая, что согласно нормам [7] значения β и μ постоянны, то значение правой части уравнения (2) можно вычислить и установить связь между двумя показателями в следующем виде:

$$\left[\frac{Y}{Q} \right]_t = \frac{1,03}{\left[K_{yc} \right]_t}, \quad (3)$$

где $\left[\frac{Y}{Q} \right]_t$ – мгновенное значение критерия устойчивости по Надалю для момента времени t ;

$\left[K_{yc} \right]_t$ – мгновенное значение коэффициента запаса устойчивости для момента времени t .

Таким образом зависимость (3) $\left[\frac{Y}{Q} \right]_t = \frac{1,03}{\left[K_{yc} \right]_t}$,

(3) можно использовать для сравнения двух критериев, что актуально при использовании иностранных программных комплексов для анализа результатов моделирования. Нормами [7] установлено предельные значения коэффициентов запаса устойчивости, что для грузовых вагонов соответствует $K_{yc} = 1,3$. Таким образом получим:

$$\left[\frac{Y}{Q} \right]_{kprim} = \frac{1,03}{1,3} = 0,79$$

Начальные условия для прогонов модели представлены в таблице 3. Был выбран наиболее неблагоприятный режим входа в кривую с заданной скоростью. Варианты поперечных смещений груза соответствуют

минимально допустимому значению величиной в 100 мм. Исследовалось Смещение груза внутрь и наружу кривой. Профиль колес типовой для грузовых вагонов.

Таблица 3

Серии проведённых экспериментов

Номер серии экспериментов	2
Исследуемые режимы движения	Выбег в кривом участке пути
Радиус кривизны участка, м	300
Длина участка, м	300
Профили колесо/рельс	РУ1Ш-957-Г / Р65
Скорости захода на участок, км/ч	80 / 90 / 100
Загрузка вагона, т	71
Поперечное смещение центр тяжести груза, мм	-100 / 0 / 100
Условие прекращение расчёта	остановка вагона или выход из кривой
Метод интегрирования	SODARST 2

После выполнения всех прогонов модели были получены результаты, представленные на рис. 6, 7 и 8. Стоит отметить, что в ПК «SIMPACK» отношение Y/Q вычисляется с учётом направления приложения рамной силы (т.е. может быть отрицательным). На представленных рисунках приводятся значения только для левого колеса первой колёсной пары, так как именно это колесо ударяется о рельс первым и испытывает наибольшую величину рамных сил.

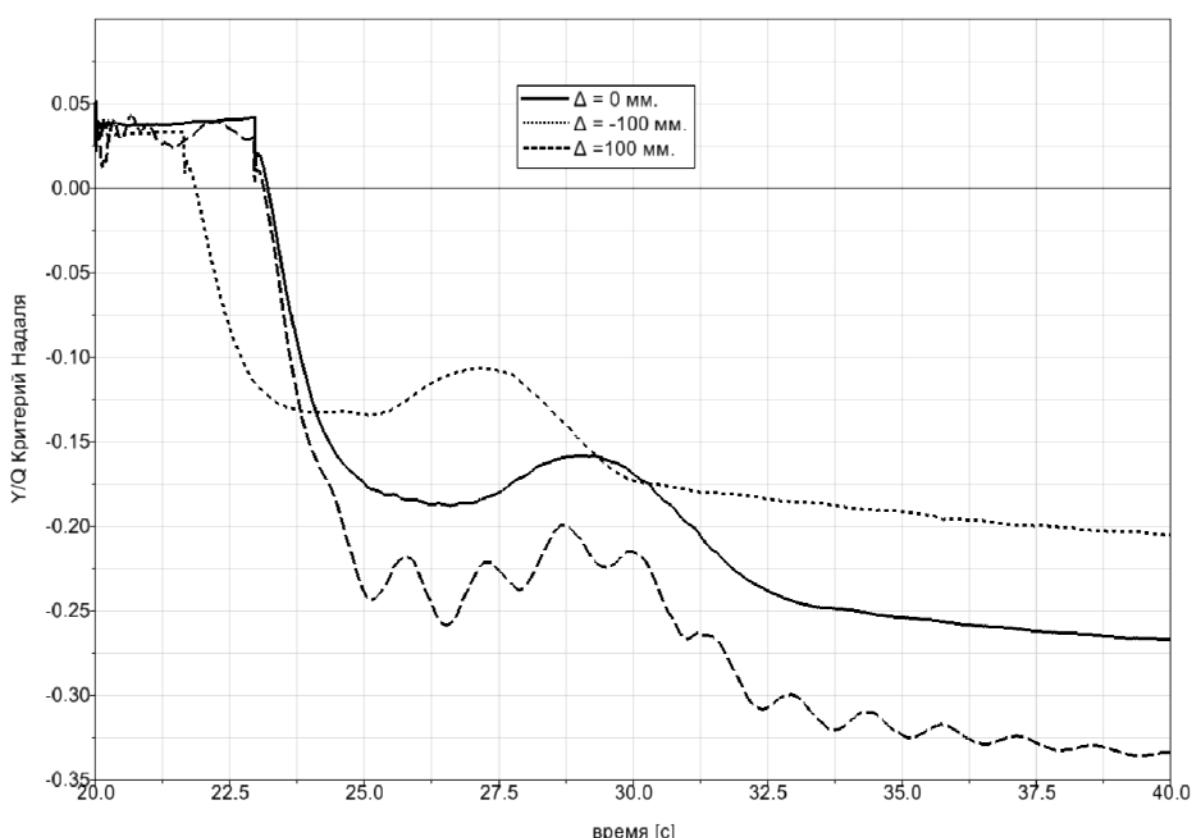


Рис. 6. Критерий Надала для скорости движения 80 км/ч

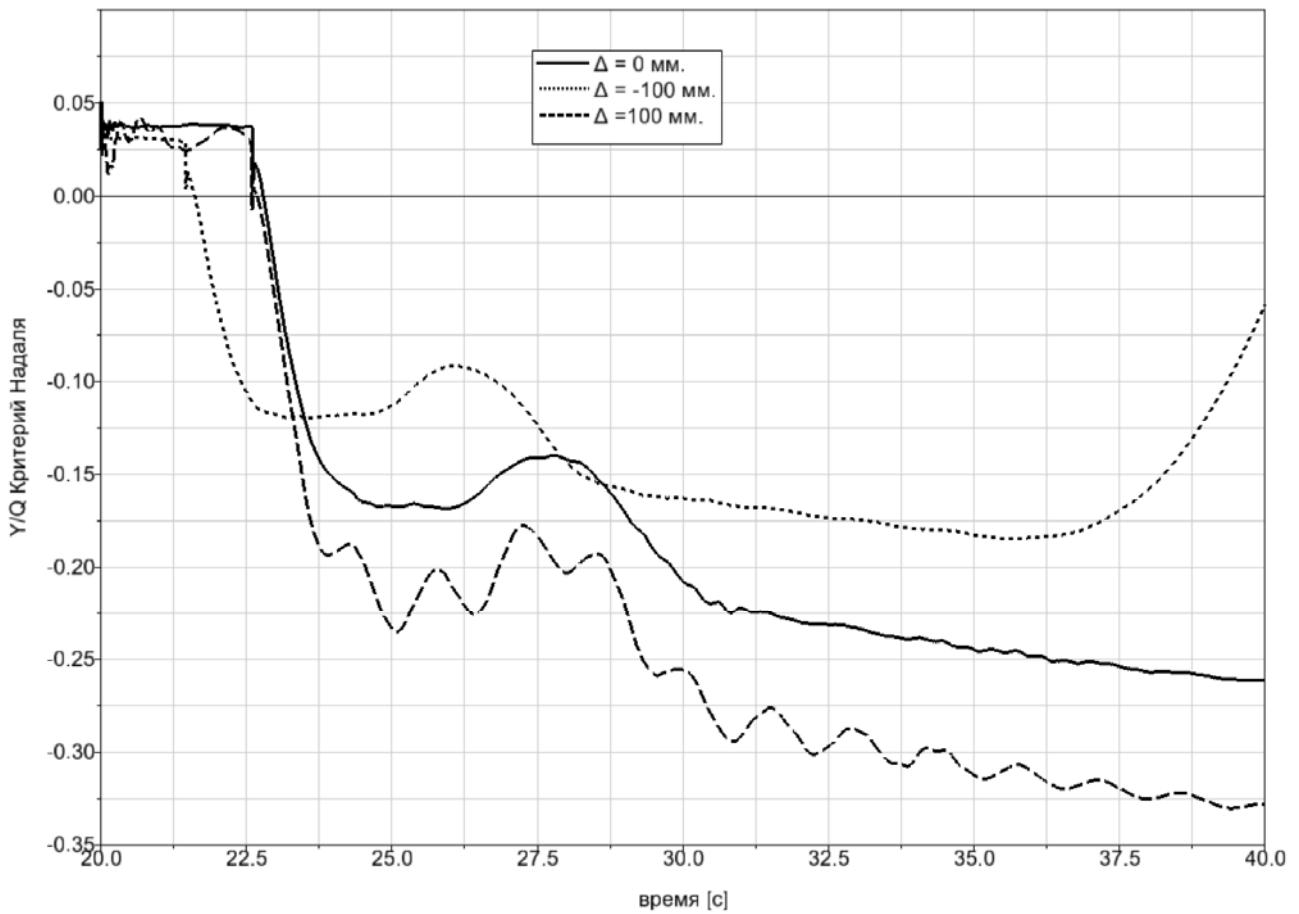


Рис. 7. Критерий Надаля для скорости движения 90 км/ч

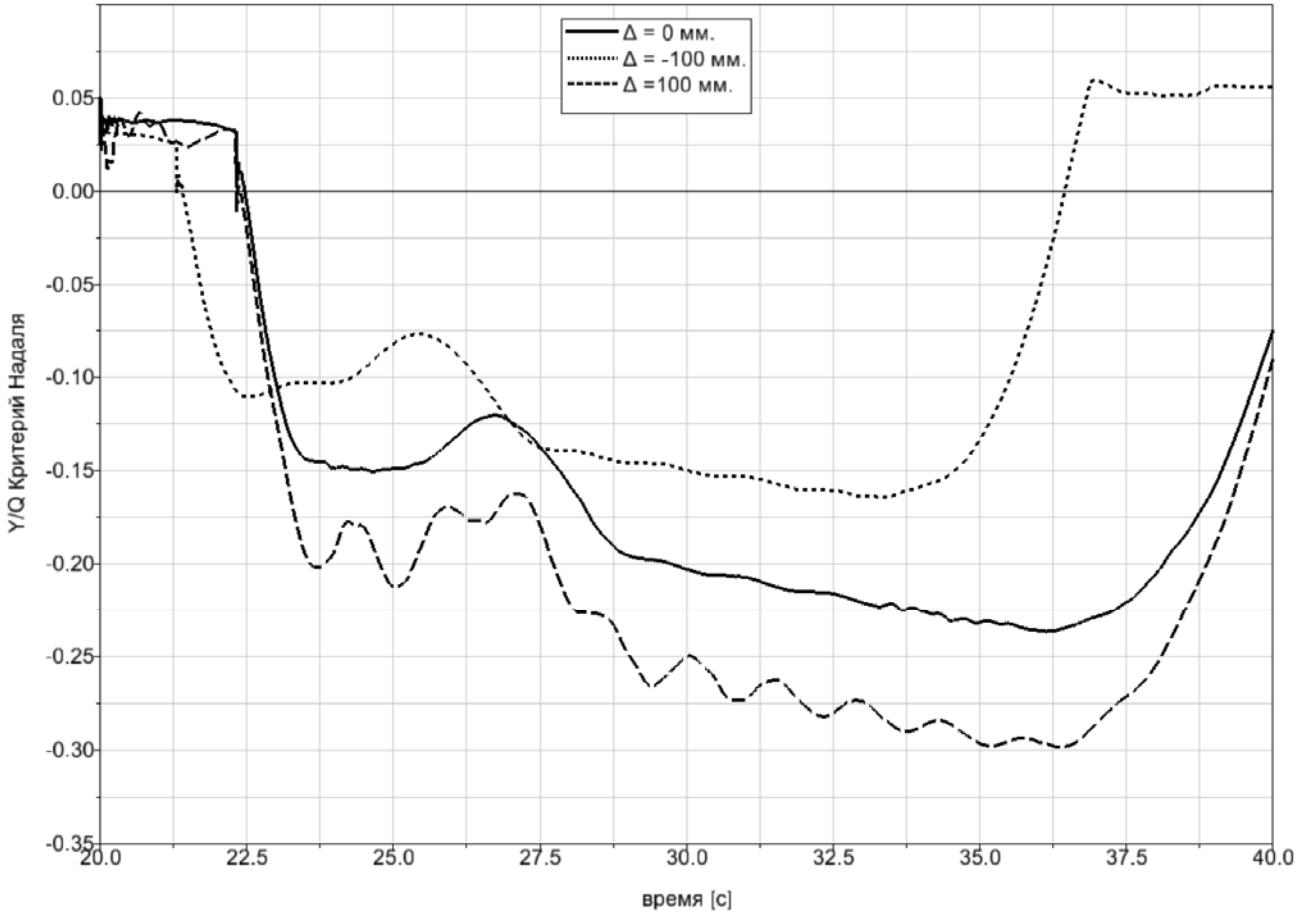


Рис. 8. Критерий Надаля для скорости движения 100 км/ч

Анализируя полученные результаты, стоит обратить внимание, что влияние поперечного смещения груза Δ на критерий Надаля существенно. Смещение груза внутрь кривой приводит к ухудшению устойчивости вагона в рельсовой колее и чревато вкатыванием гребня колеса на головку рельса.

Из полученных данных также следует, что при смещении груза ко внешнему рельсу кривого участка пути рост критерия Надаля начинается раньше, так как контакт гребня колеса с головкой рельса происходит раньше, но и выход из соприкосновения с рельсом произойдёт раньше, а также абсолютные значения критерия в этом случае будут минимальны для всех рассмотренных случаев смещения. Наиболее опасной является ситуация, когда груз смещён внутрь кривой. Помимо наихудших показателей устойчивости, из графиков следует наличие низкочастотных колебаний колеса для данного случая (т.е. происходят периодические колебания значения рамной силы), что в общем случае является негативным признаком [8, 9].

Критическое значение критерия Надаля, согласно условию (4) не достигается ни для одного рассчитанного варианта, при этом имеется большой запас устойчивости, что свидетельствует о возможности эксплуатации вагона модели 12-9788-01 в смоделированных условиях движения. Однако стоит отметить, что в статье рассматривается минимально допустимое смещение согласно требованиям технических условий [1]. При этом для скорых грузовых поездов повышенные скорости движения вкупе с большими значениями поперечных смещений (даже при меньшей массе груза) могут явиться причиной аварии или крушения. В связи с чем возникает актуальность исследования динамики контейнерных платформ при различных смещениях груза и совершенствования конструкции их основных узлов, особенно ходовых частей, так как конструкции ходовых частей специального подвижного состава, эксплуатируемого при повышенных скоростях движения должны обеспечивать недопущение потери устойчивости при любых сценариях развития аварийных ситуаций.

Заключение

В заключении приведём основные выводы по данной работе:

- Поперечное смещение груза в вагоне значительно влияет на его устойчивость в рельсовой колее. Наличие смещения может как усугублять, так и облегчать проход кривых участков пути. Но поскольку нельзя заранее предсказать количество левых и правых кривых на участке пути, то можно утверждать, что наличие поперечного смещения центра масс груза негативно влияет на устойчивость вагона в кривой.

- Критерий Надаля может быть использован для оценки динамических качеств отечественных вагонов при помощи выражения (5). Это актуально при моделировании и конвертации значений в программных комплексах, не имеющих заранее встроенных показателей, применяемых на отечественных железных дорогах.

- Проведённые численные эксперименты с компьютерной моделью вагона 12-9788-01 свидетельствуют о его устойчивости при прохождении кривых малого радиуса в груженом состоянии даже при значительных

скоростях движения. Тем не менее вопрос влияния поперечного смещения груза на динамику вагонов других типов, особенно скоростных контейнерных платформ остаётся актуальным, а исследования данного направления позволят спроектировать более совершенные ходовые части, а также, возможно, внести изменения в требования [1], что положительно скажется на общем уровне безопасности движения поездов на отечественных железных дорогах.

© Сергеев И.К., Пищик А.В., 2024

Список источников

1. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах : Утв. МПС России 27 мая 2003 г. – Москва : Юртранс, 2003. – ISBN 5-88187-194-4. - Текст: непосредственный.
2. Тропкин, С. Моделирование динамики многомассовых систем в SIMULIA Simpack / С. Тропкин // САПР и графика. – 2018. – № 5(259). – С. 14-17.
3. Сердобинцев, Е. В. Верификация пространственных динамических моделей рельсовых экипажей в SIMPACK Rail при исследовании горизонтальных колебаний локомотивов / Е. В. Сердобинцев, А. Э. Тарасов - Текст: непосредственный // Транспорт Урала. – 2017. – № 4(55). – С. 3-9.
4. Применение объектной модели для конструирования тягового привода локомотива / А. С. Космодамианский, Д. Я. Антипин, М. А. Маслов, Д. Н. Шевченко - Текст: непосредственный. // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2019. – № 10(83). – С. 39-47.
5. Тарасов, А. Э. Простейшие динамические модели рельсовых экипажей в Simpack Rail / А. Э. Тарасов - Текст: непосредственный // Инженерные системы - 2018: Сборник статей докладов участников Международного форума, Москва, 10 апреля 2018 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "КОНВЕРТ", 2018. – С. 4-6.
6. Корольков, Е. П. О вкатывании колеса на головку рельса / Е. П. Корольков, И. Г. Маслов, М. П. Козлов - Текст: непосредственный. // Мир транспорта. – 2010. – Т. 8, № 4(32). – С. 26-28.
7. Нормы для расчёта и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). - Москва: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. - 317с. - Текст: непосредственный.
8. Гаджиметов, Г. И. К вопросу совершенствования методики подтверждения максимальной безопасной (конструкционной) скорости движения для грузовых вагонов / Г. И. Гаджиметов, А. А. Лунин, Г. И. Петров. - Текст: непосредственный // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2021. – Т. 80, № 3. – С. 141-151.
9. Никонов, В. А. Тенденции развития устройств крепления контейнеров / В. А. Никонов, В. С. Коссов, Г. И. Петров. - Текст: непосредственный // Известия Трансиба. – 2021. – № 3(47). – С. 41-50.
10. SIMPACK Documentation, Release 9.5. / Copyright by SIMPACK AG, 2013. — 3810 S. - Текст: непосредственный.

Информация об авторах

Сергеев Иван Константинович – к.т.н., доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Институт транспортной техники и систем управления (ИТТСУ) РУТ(МИИТ) (Российский университет транспорта).

Пищик Александр Всеволодович – прикрепленный для подготовки диссертации на соискание ученой степени кандидата наук без освоения программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Институт транспортной техники и систем управления (ИТТСУ) РУТ(МИИТ) (Российский университет транспорта).

Information about the authors

Ivan K. Sergeev – PhD (Tech.), Associate Professor of the Department «Wagons and Wagon Economy», Institute of Transport Engineering and Control Systems (ITTSU) RUT(MIIT) (Russian University of Transport)

Alexander V. Pishik – attached to prepare a dissertation for the degree of Candidate of Sciences without mastering the training program for scientific and scientific-pedagogical personnel in the postgraduate courses in the Department of «Wagons and Wagon Economy», Institute of Transport Engineering and Control Systems (ITTSU) RUT(MIIT) (Russian University of Transport).

Статья поступила в редакцию 12.04.2024, одобрена после рецензирования 21.05.2024, принятая к публикации 17.06.2024.

The article was submitted 12.04.2024, approved after reviewing 21.05.2024, accepted for publication 17.06.2024.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors' contribution: All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The authors declare that there is no conflict of interest.

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ

Научная статья

УДК 656.027+ 06

DOI: 10.36535/0236-1914-2024-09-6

ЖЁСТКИЕ И МЯГКИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В ИЗУЧЕНИИ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ПОРОЖНИМИ ВАГОНОПОТОКАМИ

Задорожний Вячеслав Михайлович

zadorozniy91@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8357-4151,

Богачев Виктор Алексеевич

bogachev-va@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-1202-7318,

Богачев Тарас Викторович

bogachev73@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-9641-0116,

(Ростовский государственный экономический университет. Ростов-на-Дону, Россия)

Аннотация. Разработаны «жёсткая» и «мягкая» математические модели, на основе которых проводится исследование устойчивости систем управления вагонопотоками на железнодорожном транспорте. Для двухуровневой системы управления отправлением порожних вагонов со станции показано, что при переходе от жёсткой модели к мягкой достигается асимптотическая устойчивость в смысле Ляпунова решения системы дифференциальных уравнений, обеспечивающего оптимальный режим управления вагонопотоками.

Ключевые слова: системы управления вагонопотоками на железнодорожном транспорте, жёсткие и мягкие математические модели, системы дифференциальных уравнений, асимптотическая устойчивость, стационарное состояние системы управления, системы компьютерной математики

Для цитирования: Задорожний В. М., Богачев В. А., Богачев Т. В. Жёсткие и мягкие математические модели в изучении процесса управления порожними вагонопотоками // Научный информационный сборник. Транспорт: наука, техника, управление. 2024. № 9. С. 49-54. DOI: 10.36535/0236-1914-2024-09-6.

RAILWAY TRANSPORT

Scientific article

HARD AND SOFT MATHEMATICAL MODELS IN RESEARCH OF THE EMPTY WAGONFLOWS CONTROL PROCESS

Vyacheslav. M. Zadoryzhnyi

zadorozniy91@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8357-4151,

Viktor A. Bogachev

bogachev-va@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-1202-7318,

Taras V. Bogachev

bogachev73@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-9641-0116,

(Rostov State Economic University. Rostov on Don, Russia)

Abstract. Hard and soft mathematical models have been developed, on the basis of which a research of the stability of wagon flows control systems in railway transport is carried out. For a two-level control system for the departure of empty wagons from a station, it is shown that when moving from a hard model to a soft one, asymptotic stability in the Lyapunov sense of the differential equations system solution is achieved, which provides an optimal control mode for wagon flows.

Keywords: control systems for wagon flows in railway transport, hard and soft mathematical models, systems of differential equations, asymptotic stability, stationary state of the control system, computer mathematics systems

For citation: Zadoryzhnyi V. M., Bogachev V. A., Bogachev T. V. Hard and soft mathematical models in research of the empty wagonflows control process // Scientific Information Collection. Transport: science, equipment, management. 2024. № 9. P. 49-54. DOI: 10.36535/0236-1914-2024-09-6.

Введение

Вопросы, относящиеся к управлению железнодорожными грузоперевозками, составляют одну из актуальных областей исследования функционирования транспортно-технологических систем и непосредствен-

но связаны с оптимизацией их работы и повышением эффективности. В качестве основных аспектов при изучении указанных вопросов выделим такие как, управление инфраструктурой, управление движением поездов, планирование расписаний и, конечно, безопасность движения.

Выполнение процесса грузоперевозок является одним из основных видов деятельности не только ОАО «РЖД», но также других перевозочных компаний и предприятий промышленного транспорта. При этом ставятся как конечные цели в управлении указанным процессом, так и подчиненные конечным, которые составляют соответствующее дерево целей. В настоящих условиях множественности операторов подвижного состава ряд задач управления и принятия решений может быть сформулирован единообразно в виде нелинейных, многоцелевых и многоэкстремальных задач математического программирования (см., например, [2, 3, 5-7, 9]).

Наличие конкурентной среды (которая весьма активно проявляется в сфере деятельности операторов вагонных парков) приводит к возникновению разнообразных ограничений, оказывающих непосредственное влияние на процесс управления грузоперевозками. Обратим здесь внимание, например, на пользование приватизированными путями отстоя порожних вагонов, которое оплачивается собственниками вагонов с учетом соответствующего времени нахождения.

К решению указанных выше задач подходили с разных точек зрения и используя многие методы [1-8].

Так, например, в [3] исследуется совместный подход к оптимизации планирования работы железных дорог в конкурентной среде. Предлагается новая двухуровневая модель программирования, которая включает в себя решения по ценообразованию и оперативное планирование политики усовершенствованного управления.

В [4] обращается внимание на необходимость надежного планирования движения на сети железных дорог, позволяющего компенсировать кратковременные сбои в работе. Представлены методы анализа и моделирования для измерения надежности одной железнодорожной линии с учетом топологии инфраструктуры и времени буферизации.

Выполненный анализ дает представление об актуальности исследований, посвященных функционированию структуры управления на железнодорожном транспорте, а также востребованности новых математических моделей при решении соответствующих задач. В настоящей статье, которая инициирована указанной актуальностью, предлагается подход в изучении систем управления на транспорте, в основу которого положены общие концепции жесткого и мягкого математического моделирования [10]. В данном случае мы обращаемся к вопросам управления распределениями порожних вагонопотоков, которые играют одну из ключевых ролей в перевозочном процессе и приводят к достаточно сложным (в том числе, в математическом отношении) задачам.

Методологические основы подхода в математическом моделировании систем управления

Предполагается, что с данной железнодорожной станции отправляются порожние вагоны (при этом можно рассматривать одно или несколько направлений), количество x которых изменяется с течением времени t (сут.). Для построения соответствующей математической модели будем предполагать наличие некоторой (вообще говоря, неизвестной) функциональной зависимости $x = x(t)$. Непосредственно отправле-

нием вагонов занимается субъект A перевозочного процесса, которого будем позиционировать как руководителя низшего ранга в управлении. Если сформулировать коротко, управлеченческая деятельность субъекта A состоит в том, чтобы все время доступными ему средствами пытаться увеличивать количество x отправляемых со станции вагонов. Для выражения деятельности субъекта A введем переменную y , определив ее равенством:

$$y = \dot{x}. \quad (1)$$

Управлеченческая деятельность субъекта B перевозочного процесса (который является руководителем более высокого ранга) состоит в том, чтобы регулировать деятельность субъекта A . Именно, в зависимости от оперативной обстановки на данном участке полигона субъект B изменяет *скорость* изменения числа x отправляемых со станции вагонов. Для того чтобы символически выразить деятельность субъекта B обратимся к переменной \dot{y} , определив ее равенством:

$$\dot{y} = -k(x - X). \quad (2)$$

Здесь X – некоторое известное субъекту B оптимальное количество отправляемых с данной станции порожних вагонов. Конкретнее величину X можно определить как максимальное количество x порожних вагонов, которые можно переместить на данном участке полигона (в одном или нескольких направлениях) при штатном режиме функционирования. Относительно коэффициента k отметим, что в общем случае это положительное число представляет собой некоторую характеристику технологии управления вагонопотоками на данном участке и его величина существенным образом зависит от загруженности соответствующей инфраструктуры.

Роль правой части равенства (2) в представленном процессе управления становится ясной, если обратиться к основам дифференциального исчисления. Именно, указанное выражение позволяет задавать знак величине \dot{y} . Приведем более подробные пояснения.

Если значения x такие, что $x < X$, то в силу равенства (2) получаем, что должно быть $\dot{y} > 0$. Следовательно (см. равенство (1)), функция $\dot{x}(t)$ возрастает. Заметим, что здесь речь идет о *производной* функции $x = x(t)$, то есть об *увеличении скорости изменения количества x отправляемых вагонов*. В отношении субъекта B это означает, что он стимулирует деятельность субъекта A в тех ситуациях, когда эта деятельность не достаточно активна. Аналогично получается, что функция $\dot{x}(t)$ убывает, когда $x > X$. Таким образом, субъект B пытается сдерживать активность субъекта A , уменьшая *скорость* изменения переменной x . Подведя итог, мы видим, что субъект B реализует обратную связь с субъектом A в системе управления отправлением порожних вагонов со станции.

Математическая модель рассматриваемого процесса управления представляется линейной автономной системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \dot{x} = y, \\ \dot{y} = -k(x - X), \end{cases} \quad (3)$$

которая относится к жестким моделям управления [10].

Далее можно вводить разного рода ограничения для переменных y и \dot{y} , которые позволяют отразить специфику функционирования объектов транспортной инфраструктуры. Как уже отмечалось, эти ограничения в существенной степени влияют на механизм управления отправлением порожних вагонов и находят свое выражение в значениях параметра k . Выделим следующие из указанных объектов: выборочные участки сети РЖД, Технические станции и пункты формирования грузовых составов, включая их сортировочные мощности, конечные пункты доставки грузов и места отправления порожних вагонов, железнодорожные ПНП, парки операторских компаний

Обратим еще внимание на тесную связь рассматриваемых вопросов с планом формирования поездов и маршрутов, а также величиной параметров, характеризующих условия передачи с дороги на дорогу порожних вагонов по междорожным стыковым пунктам.

Характеристики транспортного проекта

В качестве объекта для применения разработанной выше математической модели рассмотрим систему управления отправлением порожних вагонов, находящихся в собственности операторской компании (ОК) и образующих часть вагонопотока на участке Новороссийск – Краснодар-Сортировочный полигона СКЖД.

Будем предполагать, что в качестве субъекта A выступает диспетчер ОК (который заинтересован в увеличении количества x отправляемых со станции порожних вагонов), а в качестве субъекта B – перевозчик (которому известно оптимальное значение X количества x порожних вагонов, которое следует отправлять со станции Новороссийск в указанном направлении). Представление о величине X сформировано на основании практического опыта, причем пропускные способности участка полигона рассматриваются с учетом движения пассажирских поездов.

Далее будем исходить из того, что при установленной длине поезда в 57 условных вагонов пропускная способность расчетного участка составляет 12 поездов. Таким образом, рассматриваемое в модели оптимальное значение (см. второе уравнение системы (3)) равно $X = 12 \cdot 57 = 684$ (ваг.).

В отношении коэффициента k отметим, что им выражаются возможности, которые имеются у перевозчика для регулирования объема вагонопотока на участке. В связи с этим выделим такие показатели как, например: пропускная способность перегонов, коэффициент использования пропускной способности на ограничивающих участках станций, коэффициент заполнения пропускной способности ограничивающего элемента по деповским и экипировочным устройствам.

Отметим, что выявление, анализ и интерпретация значений параметра k , которым в рассматриваемой модели выражаются имеющиеся у транспортно-технологической системы возможности для регулирования объемов вагонопотоков, являются темой отдель-

ного исследования. В настоящей статье рассматривается численное значение $k = 0,98$.

Жёсткое моделирование системы управления порожними вагонопотоками

Начнем с замечаний общего характера в отношении методологии предложенного подхода. Для изучения поведения решений системы (3) можно использовать различные методы теории дифференциальных уравнений (см., например, [10,11]). Мы воспользуемся тем, что (как хорошо известно) эта система равносильна обыкновенному дифференциальному уравнению 2-го порядка следующего вида:

$$\ddot{x} + kx = kX. \quad (4)$$

При этом далее в соответствии с содержанием задачи на неизвестную функцию $x = x(t)$ будут накладываться начальные условия. Для численной, аналитической и графической реализации построенной модели системы управления мы пользуемся специализированным программным средством Maxima (Free Ware).

Выражаясь языком теории дифференциальных уравнений, будем исследовать на устойчивость при $t \rightarrow +\infty$ решения $x(t) \equiv X$ уравнения (4). Объяснением такой формы постановки задачи является общее положение в указанной теории [10], согласно которому такому решению соответствует стационарное состояние рассматриваемой системы управления. В данном случае будем пользоваться следующим выражением общего решения уравнения (4):

$$x(t) = C \cos(\sqrt{k}t + \mu) + X. \quad (5)$$

При этом числа C и μ находятся из равенств:

$$C = \sqrt{C_1^2 + C_2^2}, \quad \cos \mu = \frac{C_1}{C}, \quad \sin \mu = \frac{C_2}{C}, \quad (6)$$

где C_1 и C_2 – произвольные вещественные постоянные.

Для рассматриваемой в настоящей статье системы, имеющей два уровня управления, в математическом отношении устойчивость стационарного состояния обусловлена знаком действительных частей корней λ соответствующего характеристического уравнения

$$\lambda^2 + k = 0, \quad (7)$$

которые, вообще говоря, являются комплексными числами.

Поскольку (в силу построения модели) значения, которые может принимать параметр k , положительны, уравнение (7) имеет чисто мнимые (комплексно сопряженные) корни $\lambda_{1,2} = \pm i\sqrt{k}$. Известно [10,11], что указанные корни находятся на границе устойчивости решения $x(t) \equiv X$.

Перейдём к изложению результатов настоящего исследования. Начнем с результатов, относящихся к вопросам устойчивости системы управления порожними вагонами (которые в рассматриваемой ситуации отправляются со станции выгрузки Новороссийск), полу-

ченными путём жёсткого математического моделирования. На рис. 1 приведён график решения $x(t)$ задачи Коши для уравнения (4) с начальными условиями $x(0)=665$ (ваг.) и $\dot{x}(0)=10$ (ваг./сут.). Указанные условия выбраны произвольно с той целью, чтобы проиллюстрировать то общее положение [10], что при двухуровневой системе управления могут происходить периодические колебания значений функции $x(t)$. Однако, в данном случае не происходит катастрофического нарастания колебаний (как это имеет место для жёстких моделей систем управления с тремя и более уровнями управления [10]).

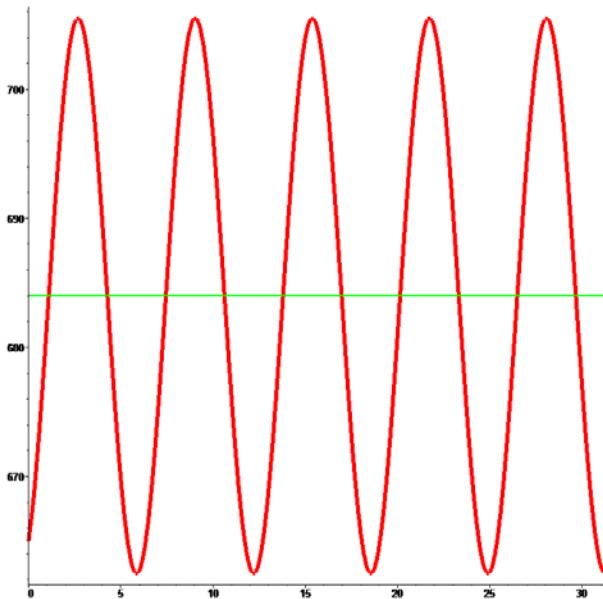


Рис. 1. График зависимости $x = x(t)$, полученной для жёсткой модели

Приведём аналитическое выражение указанного решения:

$$x(t) = 10,1 \sin \frac{7\sqrt{2}}{10} t - 19 \cos \frac{7\sqrt{2}}{10} t + 684. \quad (8)$$

Обратим теперь внимание на то имеющее принципиальный характер общее положение в теории управления, что двухуровневая система управления может оказаться устойчивой, если для субъектов управления (в данном случае для субъектов B и A перевозочного процесса) осуществляется некоторая (пусть даже односторонняя) дополнительная связь [10]. Будем руководствоваться этим замечанием при проведении дальнейших исследований.

Мягкое моделирование системы управления порожними вагонопотоками

В методологическом плане мы руководствуемся общими теоретическими положениями, изложенными в [10]. В соответствии со сказанным усложним аналитическую структуру второго уравнения системы (3).

Именно, запишем мягкую модель системы управления вагонопотоками в следующем виде:

$$\begin{cases} \dot{x} = y, \\ \dot{y} = -k(x - X) - \delta y. \end{cases} \quad (9)$$

При этом дополнительным слагаемым во втором уравнении системы (обращаем внимание на знак « $-$ » перед произведением δy) обеспечивается более тесная связь между субъектами B и A перевозочного процесса. Теперь предполагается, что субъектом управления B (напомним, что для выражения его деятельности используется переменная \dot{y} и он, в зависимости от ситуации, стимулирует или сдерживает активность субъекта A) принимаются во внимание также изменения в скорости \dot{x} изменения количества x отправляемых вагонов. С точки зрения дифференциального исчисления соответствующее пояснение выглядят следующим образом.

Пусть $\dot{x} > 0$, то есть количество x отправляемых порожних вагонов увеличивается с течением времени t . Тогда $\delta y > 0$, то есть величина \dot{y} ускорения изменения указанного количества становится меньше, чем в случае жёсткой модели. Если же $\dot{x} < 0$ (количество x отправляемых вагонов уменьшается), то аналогично получаем, что величина \dot{y} становится больше, чем в случае жёсткой модели.

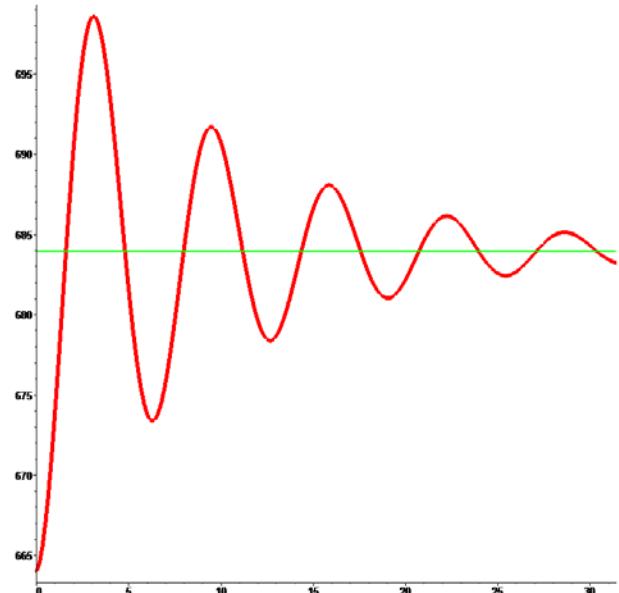


Рис. 2. График зависимости $x = x(t)$, полученной для мягкой модели

Перейдём к изложению результатов, полученных для рассматриваемой системы управления вагонопотоками на основе мягкого моделирования в предположении, что $k = 0,98$ и $\delta = 0,2$. На рис. 2 системой компьютерной математики изображён график функции, являющейся первой компонентой решения задачи Коши для системы (9) с начальными условиями: $x(0) = 664$ (ваг.) и $y(0) = 2$ (ваг./сут.).

Указанная функция имеет вид:

$$x(t) = 684 - 20e^{-\frac{t}{10}} \cos \frac{\sqrt{97}t}{10}. \quad (10)$$

Отметим, что начальные условия в задаче Коши, поставленной для системы дифференциальных уравнений (9), практически совпадают с теми, что были рассмотрены выше в случае жесткой модели. Однако, теперь график функции, описывающей повременное изменение количества x отправляемых со станции порожних вагонов, имеет отчетливо выраженную горизонтальную асимптоту $x = X = 684$. Средствами классического математического анализа можно показать, что для произвольно выбираемых начальных условий соответствующая функция $x = x(t)$ обладает тем свойством, что $x(t) \rightarrow X$ при $t \rightarrow \infty$. Таким образом, в рамках задаваемой системой дифференциальных уравнений (9) мягкой модели система управления порожними вагонопотоками является асимптотически устойчивой.

Заключение

Предлагается подход в изучении устойчивости систем управления вагонопотоками на железнодорожном транспорте, в основу которого положены концепции жесткого и мягкого математического моделирования в общей теории управления. Построенные модели имеют в качестве объекта для реализации систему управления порожними вагонопотоками припортовой станции выгрузки. В качестве математического аппарата исследований используются методы теории устойчивости решений систем обыкновенных дифференциальных уравнений.

Введение дополнительных связей между субъектами управления в состоящей из двух уровней системе управления отправлением порожних вагонов позволяет осуществить переход к мягкой модели от жесткой, которая не может обеспечить устойчивости невозмущенного решения соответствующей системы дифференциальных уравнений. Полученное решение задачи Коши подтверждает асимптотическую устойчивость в смысле Ляпунова решения системы уравнений, обеспечивающего оптимальный режим управления вагонопотоками.

Система компьютерной математики, наряду с традиционно выполняемыми вычислительной, преобразовательной в отношении аналитических выражений и графической функциями, позволяет реализовать эвристическую составляющую в процессе исследования. Построенные модели систем управления имеют общий характер и могут быть применены к другим видам транспорта.

© Задорожний В. М., Богачев В. А., Богачев Т. В., 2024.

Список источников

- Яркина В.Е., Яркин Е.К. Постановка задачи оптимизации маршрутов грузовых мультимодальных перевозок // Мир транспорта и технологических машин. - 2023. - №1-2(80). - С. 57-63.
- Малышев М.И. Обзор исследований в области повышения эффективности мультимодальных перевозок на основе технологических решений / М.И. Малы-

шев // Научный Вестник МГТУ ГА. 2020. - Том 23, № 04. - С. 58-71.

3. Research on Differential Pricing and Train Operation Decisions for Railway Cargo Transportation Under Competitive Conditions / Jingjing Zeng, Xiaoqing Zhang, Kehuai Jin // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2677. 036119812211021. 10.1177/03611981221102147. 2022.

4. Robustness for a single railway line: Analytical and simulation methods / Miguel A. Salido, Federico Barber, Laura Ingolotti // Expert Systems with Applications. 39. 13305–13327. 10.1016/j.eswa.2012.05.071. 2012.

5. Cerreto, F. Micro-simulation based analysis of railway lines robustness // In Proceedings of RailTokyo. 2015. P. 13.

6. Развитие методов моделирования в выборе рациональных параметров распределения вагонопотоков припортовых транспортных систем / О.Н. Числов, М.В. Колесников, В.М. Задорожний [и др.] // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. - 2021. - № 2(82). - С. 168-179.

7. Числов О.Н., Богачев В.А., Трапенов В.В., Богачев Т.В., Задорожний В.М. Конфигурирование терминально-складской инфраструктуры транспортного узла на основе развития метода экономико-географического разграничения грузопотоков // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2022. Т. 19. № 4. С. 800-811.

8. Zubkov, V., et al., 2019. Capacity and Traffic Management on a Heavy-Traffic Railway Line. TransSiberia 2019, vol. 2. Springer International Publishing. 10.1007/978-3-030-37919-3, P. 934-949.

9. Mathematical model of optimal empty rail car distribution at railway transport nodes / A. Rakhmangulov, A. Kolga, N. Osintsev, I. Stolpovskikh, A. Sladkowski // Transport problems (Problemy Transportu). - 2014. - Vol. 9. - P. 125-132.

10. Арнольд В.И. «Жесткие» и «мягкие» математические модели. М.: МЦНМО, 2008, 32 с.

11. Петровский И.Г. Лекции по теории обыкновенных дифференциальных уравнений / Под ред. А.Д. Мышкиса, О.А. Олейник. — М.: Изд-во МГУ, 1984. — 296 с.

Информация об авторах

Задорожний Вячеслав Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Станции и грузовая работа», ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО РГУПС).

344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2,
Телефон 8(863) 272-42-01.

Богачев Виктор Алексеевич, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры «Высшая математика», ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО РГУПС).

344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2,
телефон (863) 272-63-30.

Богачев Тарас Викторович, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры «Фундаментальной и прикладной математики», ФГБОУ ВО «Ростовский государственный экономический университет (РИНХ)», (ФГБОУ ВО РГЭУ (РИНХ)).

344002, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, д. 69, телефон (863) 261-38-85

Information about the authors

Vyacheslav M. Zadorozhniy, PhD (Tech.), associate professor of the chair «Stations and cargo work», Rostov State Transport University (RSTU).

344038, Rostov-on-Don, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., 2,
phone 8(863) 200-42-01.

Viktor A. Bogachev, PhD (Phys.-math.), associate professor, associate professor the chair «Higher Mathematics», Rostov State Transport University (RSTU).

344038, Rostov-on-Don, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., 2,
phone (863) 272-63-30.

Taras V. Bogachev, Candidate of physical mathematical sciences, associate professor, associate professor the chair «Fundamental and Applied Mathematics», Rostov State University of Economics.

344002, Rostov-on-Don, st. Bolshaya Sadovaya, 69,
phone (863) 261-38-85.

Статья поступила в редакцию 15.04.2024, одобрена после рецензирования 20.05.2024, принятая к публикации 01.07.2024.

The article was submitted 15.04.2024, approved after reviewing 20.05.2024, accepted for publication 01.07.2024.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors' contribution: All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The authors declare that there is no conflict of interest.

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

Научная статья

УДК 629.113; 303.022

DOI: 10.36535/0236-1914-2024-09-7

АСПЕКТЫ АВТОМОБИЛЬНОЙ И АВТОТРАНСПОРТНОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ. ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫЙ ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ

Грушников Виктор Александрович

mach04@viniti.ru

(Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук. ВИНИТИ РАН)

Аннотация. Техническая и эксплуатационная безопасность автомобильного транспорта складывается из нескольких компонентов и аспектов, а ее оценка строится на использовании как дифференциальных с разнонаправленными векторами, так и комплексных интегральных критерий. Рассмотрим эту проблему на примере электрифицированного подвижного состава автомобильного транспорта.

Ключевые слова: автомобили, электромобили, электромобильность, силовые агрегаты, двигатели внутреннего сгорания, аккумуляторные батареи, топливные элементы, функциональность, конструктивная, технологическая, экологическая, энергетическая безопасность

Для цитирования: Грушников В.А. Аспекты автомобильной и автотранспортной функциональности и безопасности. Электрифицированный подвижной состав // Научный информационный сборник. Транспорт: наука, техника, управление. 2024. № 9. С. 55-62. DOI: 10.36535/0236-1914-2024-09-7.

AUTOMOBILE TRANSPORT

Scientific article

ASPECTS OF AUTOMOBILE AND VEHICLE FUNCTIONALITY AND SAFETY. ELECTRIFIED ROLLING STOCK

Viktor A. Grushnikov

mach04@viniti.ru

(All-Russian Institute of Scientific and Technical Information. VINITI of RAS)

Abstract. The technical and operational safety of road transport consists of several components and aspects, and its assessment is based on the use of both differential with multidirectional vectors and complex integral criteria. Let's consider this problem using the example of electrified rolling stock of road transport.

Keywords: cars, electric vehicles, electromobility, power units, internal combustion engines, batteries, fuel cells, functionality, structural, technological, environmental, energy security

For citation: Grushnikov V.A. Aspects of automotive and vehicle functionality and safety. Electrified rolling stock // Scientific Information Collection. Transport: science, equipment, management. 2024. № 9. P. 55-62. DOI: 10.36535/0236-1914-2024-09-7.

Введение

Интегральный показатель безопасности автомобильного транспорта, вообще, и его разновидности – электрифицированного, в частности, представляет собой комбинаторный комплекс таких дифференциальных показателей качественной и/или количественной характеристики конструктивного, технологического и эксплуатационного совершенства. Они определяют автомобильную, транспортную и энергетическую безопасность. Рассмотрим эти аспекты на примере наиболее наглядных проявлений передового современного зарубежного автомобилестроения, хотя все они в полной мере распространяются и на отечественный автомобильный подвижной состав.

Конструктивно-технологические особенности и преимущества

Невозможно провести обоснованную оценку определяющих субъективные предпочтения потребителей автомобильных колесных транспортных средств (АКТС) и объективных параметров совершенства конструктивно-технологических особенностей и преимуществ элек-трифицированного подвижного состава, в данном конкретном случае, без рассмотрения их концептуальных принципов построения структурной архитектуры, за-служивающих внимания из-за разъяснения понимания сути формирования конструкции, и конкретизирующих ее реализации технических характеристик.

В этом плане несомненный интерес представляет собой электрифицированная мягкая гибридная концепция e-POWER моделей Qashqai и X-Trail японской автомобильной компании Nissan, основанная на приводе передних ведущих колес электродвигателем, запитанным от генератора с приводом от трехцилиндрового бензинового двигателя внутреннего сгорания (ДВС) с бесступенчатой регулируемой в диапазоне от 8 : 1 до 14 : 1 степенью сжатия топливовоздушной смеси. Эта цель достигается [1] за счет оснащения кривошипно-шатунными механизмами с изменяемыми длинами настраиваемых шарнирно-поворотных рычагов переменного момента инерции и количества движения (рис. 1). На высоких нагрузочных режимах с большими разгонными ускорениями автомобиля ДВС работает со степенью сжатия 8 : 1 и высокой степенью турбонаддува, обеспечивающими высокую отдачу мощности и крутящего момента, тогда как при движении с постоянной скоростью реализуется максимальная степень сжатия и минимальный или отсутствующий наддув, адаптивно обеспечивающие максимально полное сгорание топливовоздушной смеси в цилиндрах ДВС с минимумом вредных веществ в выбрасываемых в атмосферу отработавших газов (ОГ).

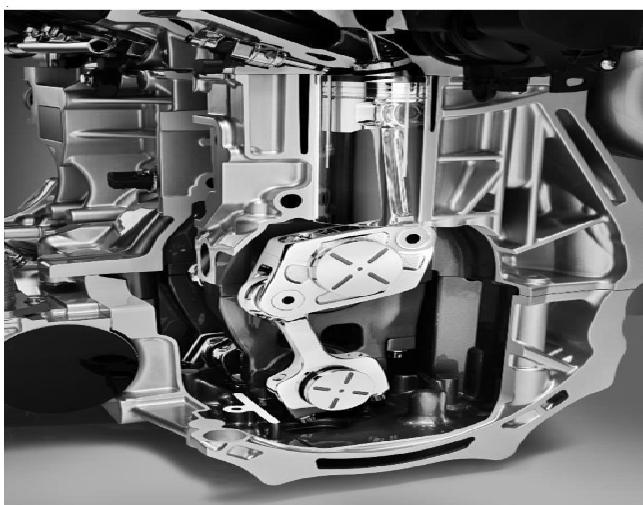


Рис. 1. ДВС с изменяемой степенью сжатия топливовоздушной смеси в его цилиндрах

За счет такой трансформации энергии топлива в механическую энергию трехцилиндровый адаптивно регулируемый тепловой агрегат в виде модифицированного ДВС концепции e-POWER Qashqai и X-Trail обладает сниженным сопротивлением трения поршней о стенки цилиндров, корпусным шумом и увеличенным до 40% КПД, большим, чем у аналогичных инжекторных бензиновых ДВС и сравнимым с дизельными. Высокая энергоэффективность концепции e-POWER рассматриваемых моделей автомобилей Nissan обеспечивает в осуществляемых имитационном ездовом цикле Всемирной гармонизированной процедуры WLTP 79%-ю реализацию электротяги при движении в городе, 65%-ю – в пригородном на скорости менее 100 км/ч и 29%-ю - при более 100 км/ч. В модификации e-4ORCE концепции e-POWER полноприводный Nissan X-Trail с дополнительным по сравнению с переднеприводными Nissan Qashqai и X-Trail передним электродвигателем мощностью 66 кВт полу-

чил еще и задний мощностью 45 кВт, сделавшим его динамичнее и маневреннее.

В немецком сегменте лидеров мирового автопрома заметен [2] новый подключаемый, т. е. оснащенный заряжаемой аккумуляторной батареей (АБ), гибридный пятиместный четырехдверный полноприводный легковой автомобиль Mercedes E 400 E 4Matic среднего класса длиной × шириной × высотой 4949 × 1880 × 1468 мм, колесной базой 2961 мм, колеей передних/задних колес 1634/1648 мм, допустимой полной массой 2860 кг, объемом багажника 370 л и коэффициентом аэродинамического сопротивления $C_w=0,25$.

Он оснащен комбинированной энергетической установкой гибридного привода в составе четырехцилиндрового рядного турбонаддувного бензинового ДВС переднего продольного размещения с непосредственным впрыском топлива рабочим объемом 1999 см³,名义альной мощностью 195 кВт (252 л.с.) при 5800 мин⁻¹ и максимальным крутящим моментом 400 Нм при 3200 мин⁻¹ и синхронного электродвигателя на постоянных магнитах мощностью 95 кВт и крутящим моментом 440 Нм, запитанного от литий-ионной АБ энергоемкостью 25,4 кВт·ч. Такое силовое оснащение позволяет Mercedes E 400 E 4Matic разгоняться до 100 км/ч за 5,4 с (на чистой электротяге - за 14,1 с), до 200 км/ч за 20,4 с и до максимальной скорости 250 км/ч при среднем удельном потреблении топлива + электроэнергии в имитационном ездовом цикле процедуры WLTP 0,6 д + 19,2 кВт·ч/100 км.

А в плане оценки конкретных конструктивно-технологических параметров - технических характеристик электрифицированных АКТС особый интерес представляют [3] результаты очного соперничество обновленного немецкого - VW ID.4 Pro Performance классической компоновки на 21-дюймовых колесах и вернувшегося из Китая переднеприводного модернизированного японского - Nissan Ariya Evolve Pack на 20-дюймовых колесах 4,5-метровых пятиместных электромобилей (ЭМ) с максимальной скоростью 160 км/ч. Первый оснащен синхронным электродвигателем на постоянных магнитах максимальной мощностью 150 кВт (204 л.с.) и максимальным крутящим моментом 310 Нм, запитанным от АБ энергоемкостью брутто/нетто 82/77 кВт·ч, подзаряжаемой до запаса автономного хода в 200 км всего за 20 мин.

Второй оборудован также синхронным, но с внешним возбуждением, электродвигателем максимальной мощностью 160 кВт (218 л.с.) и максимальным крутящим моментом 300 Нм, запитанным от АБ энергоемкостью брутто/нетто 66/63 кВт·ч, подзаряжаемой до запаса автономного хода в 200 км за 31 мин. Эта разница в зарядной динамике и стала основной причиной преимущества во всесторонней оценке независимых экспертов-испытателей VW ID.4 Pro Performance над Nissan Ariya Evolve Pack с 603 баллами против 556 в итоговом протоколе.

Проведенная независимыми высококвалифицированными экспертами-испытателями всесторонняя оценка по 632 пунктам технико-эксплуатационных характеристик совершенства нового ЭМ - флагмана немецкого автоконцерна BMW - люксовой модели i7 XDRIVE60 позволила выставить ему в итоговом протоколе 632 балла при 1000 возможных. В номинации «кузов» в качестве плюсов отмечены [4] рациональность габари-

тов и хорошее оснащение салона, а к минусам отнесены недостаточное полезное использование пространства салона и возможность его трансформации (107 из 150).

Безопасность признана надежно и эффективно реализуемой по разгонной динамике на всех режимах движения и наружной освещенности и световой сигнализации, а вот тормозная не доведена до должного уровня (99 из 150). Комфортабельность - почти идеальная (96 из 100). Привод с двумя синхронными электродвигателями признан удовлетворительным по силовым возможностям, но не по экономичности (102 из 150). Удовлетворительно оценены по вибонагруженности и валкости подвеска и послушности управляемость (106 из 150). Из-за высокого удельного потребления электроэнергии - 18,4...19,6 кВтч/100 км в смешанном цикле имитационной процедуры WLTP, недостаточного, как признано, запаса автономного хода по WLTP: 590...625 км и интенсивного износа шин оценка низкая (75 из 150), а по цене и стоимости обслуживания - самая низкая (47 баллов из 150 возможных).

Модифицированный из базового гибридного варианта новый компактный немецкий переднеприводный пятиместный ЭМ с кузовом седан Opel Corsa Electric GS стоимостью €38045, длиной × шириной × высотой 4061 × 1765 × 1435 мм, колесной базой 2538 мм, вместимостью багажного отделения 267-1042 л, снаряженной/полезной массой 1544/372 кг, на 16-дюймовых колесах с шинами 65-й серии оснащен [5] синхронным электродвигателем на постоянных магнитах мощностью 115 кВт и максимальным крутящим моментом 260 Нм. Он питан от литий-ионной АБ энергоемкостью 51 кВт·ч, позволяющим разгоняться до 100 км/ч за 8,1 с и до максимальной скорости 150 км/ч при среднем потреблении электроэнергии в ездуом цикле WLTP 14,3 кВт·ч/100 км и запасе автономного хода в 405 км.

Прототипом полноприводного пятидверного бальтернативно электрического (с 2030 г. полностью прерывается выпуск автомобилей с ДВС) кроссовера Volvo EX30 - самого маленького в гамме моделей с индексом 30 шведская компания Volvo на модульной платформе SEA (Sustainable Experience Architecture) платформе китайского материнского холдинга Geely возвращается в компактный сегмент [6]. Ближайшие технические родственники нового ЭМ Volvo EX30 - это модели Smart #1 и Zeekr X, но если у них колесная база достигает 2750 мм, то шведская «тридцатка» имеет только 2650 мм между осями. Унифицированное шасси - со стойками McPherson спереди и многорычажкой сзади подвески с пружинами и пассивными амортизаторами сзади 19-дюймовых колес на шинах 45-й серии. Кузов у Volvo EX30 оригинальный, с узнаваемым дизайном в фирменном стиле длиной 4233 мм, шириной 1837 мм, высотой 1549 мм, коэффициентом аэродинамического сопротивления $c_w = 0,28$ и заявленным дорожным просветом в 177 мм в снаряженном состоянии или 165 мм с водителем. Объем багажного отделения - 318-904 л при снаряженной/полезной массе 1943/375 кг.

Мультимедийная платформа основана на операционной системе Android со встроенными сервисами Google и системой обновления «по воздуху», хотя у автомобилей для Китая и Южной Кореи будет другое программное обеспечение. Развитая подсветка интерьера имеет пять разных режимов работы. Для производства модели EX30 широко применено вторсырье, при-

чем не только в салоне. Например, из переработки взято 25% алюминия, 17% стали и 17% пластика.

Для отделки салона использованы переработанные пластиковые бутылки и искусственные материалы, даже в тканевой отделке сидений на шерсть приходится только 30%, а кожа не предлагается вовсе. Есть четыре варианта декоративного оформления интерьера. Volvo EX30 имеет стеклянную крышу, полный набор водительских ассистентов, автопарковщик и адаптивный круиз-контроль. Базовая версия Volvo EX30 стоимостью €48490 будет оснащена двумя синхронными электродвигателями на постоянных магнитах системной мощностью 315 кВт (428 л.с.) и крутящим моментом 543 Нм, питанных от литий-железо-фосфатной тяговой АБ энергоемкостью 69 кВт·ч, что обеспечивает разгон до 100 км/ч за 3,6 с, до максимальной скорости 180 км/ч и запас атономного хода, а также среднее потребление в имитационном ездуом цикле процедуры WLTP 460 км и 16,3 кВт·ч, соответственно.

Сразу несколько инноваций, в том числе рычажно-сенсорный переключатель света фар на рулевом колесе и другие усовершенствования оснащения салона, главными из которых являются улучшенная аэродинамика с $C_w = 0,219$, оптимизация шумового фона и силового оснащения, получил обновленный пятиместный полно-приводный ЭМ с кузовом седан Tesla Model 3 Long Range длиной 4720 мм, шириной 1850 мм, высотой 1441 мм, колеей 2875 мм, багажниками спереди/сзади объемом 88/594 л, снаряженной массой 1824 кг на 18-дюймовых колесах с шинами 45-й серии [7].

Асинхронный спереди и синхронный сзади электродвигатели мощностью 121 и 203 кВт, соответственно, и системным крутящим моментом 560 Нм, питанные от никель-марганцево-кобальтовой тяговой АБ энергоемкостью 79 кВт·ч позволяют разгоняться Tesla Model 3 Long Range до 100 км/ч за 4,4 с и до максимальной скорости 201 км/ч, в среднем потребляя в имитационном ездуом цикле процедуры WLTP 14 кВт·ч/100 км электроэнергии.

Представленный краткий анализ конструктивно-технологических параметров технических характеристик мировых автомобилестроительных лидеров свидетельствует о стремлении достижения единой цели высокой энергоэффективности за счет максимально возможного снижения аэродинамического сопротивления АКТС, минимизации потребления энергии агрегатами привода высокой мощности, но достаточно разными способами.

Общий уровень зрелости электрифицированного подвижного состава

Используя метод индукции с переходом логических умозаключений от частного к общему, попробуем оценить уровень зрелости ЭМ в глобальном сравнении. В этом поможет аналитический обзор продвижения процесса электромобилизации по всему миру, рассматривающий проблемы неоднородности протекания в разных регионах Земного шара и прогнозирующий его перспективы. Отмечается прогресс год от года доли продаж батарейных ЭМ и автомобилей с гибридным приводом - 4,2% в 2020 г. и 8,3% в 2021 г. [8]

В списке стран с автомобилистами, признающими преимущества электрифицированных АКТС, вообще, и ЭМ, в частности, по индексу зрелости электротранс-

порта (100% - готовность пересесть с автомобиля на ДВС на электромобиль, более 100% - несомненное желание и уже свершившийся факт) в 2022 г. лидировала Норвегия - явный и недосягаемый лидер - с 116%! Далее с солидным отрывом от преследователей расположились Китай с 85%, Германия с 76%, Сингапур с 74% и Великобритания с 74%. Далее следуют США с 57%, Япония с 47%, ОАЭ с 45%, Таиланд с 42%, Мексика с 32%, Индия с 31%, Бразилия с 29%, Индонезия с 29%, Вьетнам с 28% и ЮАР с 18%.

При этом качественном показателе по количественному показателю эксплуатации и производства ЭМ несомненным лидером является Китай: его компании Xpeng, Nio, Geely и BYD в 2021 г. произвели 57% всех электрифицированных АКТС в мире и экспортировали 500 тыс. ед. Доля этого сегмента автомобилей в 2021 г. составила 15%, на его территории действует 2,2 млн электрозарядных станций и их число ежегодно увеличивается на 18%. В США - стране с наибольшей в мире автомобилизацией (850 ед. на 1000 жителей) при легковом автомобильном парке в 280 млн ед. электрифицированных всего 1%. В Японии из проданных и зарегистрированных в 2021 г. 42000 новых автомобилей только 1% составили гибридные, на которые приходится до 30% внутреннего рынка, и ЭМ.

В рамках поставленных Президентом Байденом и Агентством по охране окружающей среды целей сделать США страной № 1 по электромобильности рассматривается ряд законодательных мер для того, чтобы заставить отечественных автопроизводителей увеличить поставки ЭМ с жесткими ограничениями по выбросам. Рынок ЭМ в последние годы знал только одно направление - на подъем. Электромобили уже много лет завоевывают долю рынка в США. Однако они, по-прежнему, составляют лишь часть АКТС на дорогах Америки. В 2020 г. 1,8% проданных новых легковых автомобилей и легких грузовиков были оснащены агрегатами электропривода [9].

Так что тенденция правильная, но для достижения амбициозных целей администрации Байдена темпы электромобилизации должны значительно увеличиться. Если они будут реализованы, как запланировано, к 2032 г. две трети новых автомобилей, продаваемых в США, могут быть электрическими - в десять раз больше, чем сегодня. Ожидается, что к 2032 г. средние выбросы CO₂ с ОГ примерно до половины того, что в настоящее время запланировано к 2026 г. В будущем ЭМ станут частью интеллектуальных или «умных» электросетей и будут временно накапливать избыточную электроэнергию от ветровых или солнечных систем и подавать ее обратно в сеть при необходимости. И этому будут способствовать усовершенствованные электрозарядные станции с улучшенными разъемами подключения АБ.

Особое внимание уделяется применению топливных элементов (рис. 2), требующего изменения используемого Федеральным правительством в соответствующих законах и правилах определения: «ЭМ - это автомобиль, работающий исключительно от АБ, с приводом, в котором все преобразователи энергии являются исключительно электрическими машинами, а все устройства накопления энергии являются исключительно электрически перезаряжаемыми устройствами хранения энергии». АБ в настоящее время имеют

энергоемкость от 20 до 60 кВт·ч, а в отдельных случаях около 100 кВт·ч. Потребление электроэнергии сильно зависит от модели и стиля вождения, но для обычных ЭМ в настоящее время оно обычно находится в диапазоне от 10 до 20 кВт·ч/100 км.

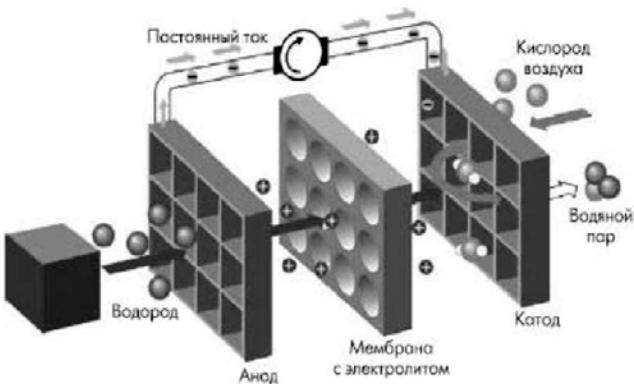


Рис. 2. Водородный топливный элемент

Одним из способов оказаться конкурентоспособными в рамках электромобильности является минимизация снаряженной массы гибридных автомобилей и ЭМ с целью экономии энергии, для чего производителям придется производить максимально легкие и компактные трансмиссии из таких прочных материалов, как низколегированные стали. А в транснациональной компании Sandvik Coromant, специализирующейся на механической обработке, оценили их преимущества. За последние годы продажи ЭМ значительно выросли. По данным консалтингового агентства EV Volumes, в феврале 2022 г. во всем мире было зарегистрировано 541780 новых батарейных ЭМ, что вдвое больше, чем в феврале 2021 г. [10]

По данным финской электротехнической компании, за первые шесть месяцев 2021 г. в Европе было зарегистрировано 1,06 млн новых ЭМ по сравнению со всего 413000 за тот же период 2020 г. Это - увеличение более чем на 157%. В то же время количество регистраций в Китае - также важном рынке ЭМ увеличилось более чем на 197%, а в США этот рост составил более 166%. Компоненты трансмиссии ЭМ с редукторами, снижающими скорость вращения роторов электродвигателей, реализуемую ведущими колесами АКТС, нужно и можно управлять контролируемым и экономичным образом. Трансмиссии в ЭМ, в основном, выполнены в виде планетарных передач, размещенных в компактном и легком кольцевом корпусном механизме. Кольцевая шестерня является наиболее сложной в изготовлении деталью из-за ее тонких стенок и высоких требований к точному закруглению. Эти требования трудно удовлетворить с помощью традиционных процессов обработки, более того: они даже влекут за собой некоторые недостатки по времени и затратам.

Обычно используемые шлифовальные станки могут быть очень дорогими, поэтому инвестиции в многофункциональные станки становятся реальной альтернативой. Благодаря этому обработку компонентов трансмиссии АКТС можно разделить на два процессы: мягкую и твердую обработку, и выполнять их только на одном из этих станков. В результате реализации этих преимуществ Sandvik Coromant на практике добилась снижения затрат для конечных пользователей как мини-

мум на 30%. Эффективное производство зубчатых венцов планетарной передачи реализовано в комплексном процессе зубодолбежной и зубофрезерной обработки.

Несмотря на разный уровень продвижения по пути электромобилизации, обеспечивающей достижение цели устранения или, хотя бы, максимально возможного снижения выбросов в атмосферу вредных веществ и парниковых газов с ОГ в эксплуатации (в электрогенерации с преобразованием тепловой энергии ископаемого топлива это преимущество, практически, сводится к нулю), лидирующими в этом процессе автопроизводителями всех стран мира предпринимают всевозможные усилия и меры его оптимизации.

Эксплуатационная и инфраструктурная безопасность

В соответствии с ранее принятой классификацией мобильной безопасности (автомобильная, транспортная и энергетическая), попробуем проанализировать такие ее аспекты, как механическая, экологическая и инфраструктурная, проявления которых плавно перетекают из одного в другой разделы через их достаточно условные границы.

Сотрудниками Национальной инженерной лаборатории ЭМ Пекинского технологического института для повышения стабильности управляемости ЭМ с независимым приводом и четырьмя ступичными электродвигателями в различных дорожных условиях реальной эксплуатации, например, представлен эффективный двухуровневый метод управления оптимальным распределением крутящего момента. Этот метод позволяет [11] рассчитать крутящий момент каждого электродвигателя в ступице колеса в соответствии с желаемой продольной силой и желаемым дополнительным моментом отклонения от курса. Алгоритм управления распределением первого уровня имеет небольшие вычислительные затраты и быстрый отклик и может обеспечить максимальный запас устойчивости АКТС в условиях хорошего сцепления с дорогой.

Поскольку коэффициенты сцепления каждого колеса АКТС любого типоразмера различны, весовой коэффициент целевой функции корректируется в реальном времени в стратегии управления распределением второго уровня, чтобы обеспечить устойчивость управления АКТС в различных условиях различающегося сцепления. Наконец, фактический крутящий момент мотор-колесных приводов регулируется контроллером режима работы в соответствии со скоростью скольжения. Предложенная стратегия верифицирована на совместной платформе моделирования CarSim-Matlab/Simulink с аппаратным обеспечением на платформе контроля приводных и тормозных контуров. Результаты моделирования двухполосного переключения на перекрестках и в маневрах обгона подтвердили, что предлагаемая стратегия распределения крутящего момента может уменьшить рыскания и углы бокового скольжения до 47,1% и 50,3%, соответственно, по сравнению с общей стратегией, а трудоемость вычислений снижается. Это позволяет эффективно улучшить стабильность управления и производительность в реальном времени при движении по дорогам разного профиля.

А известнейший немецкий поставщик автомобильных технологий для трансмиссии и силовых агрегатов Vitesco Technologies разработал инновационный исполн

ительный модуль для специализированных гибридных приводов на базе дизельных ДВС, позволяющий [12] за счет оптимизации режимов его эксплуатации и увеличении пробега на электротяге значительно снизить выбросы в атмосферу вредных загрязняющих веществ с ОГ. Этот уже использующийся в серийных моделях Clio, Captur и Megane легковых автомобилей французского Renault компактный и облегченный до менее 1 кг трансмиссионный модуль переключения диапазонов автоматической коробки передач представляет собой мехатронное устройство из композиционных материалов с интегрированными печатными платами электронного управления.

К числу аспектов как механической, так и экологической безопасности относится техническая аппаратура и стратегия рекуперативного торможения ЭМ. Серийное производство высокотехнологичных ЭМ с большим запасом автономного хода способствует стабилизации энергетического рынка и устойчивому развитию всего топливно-энергетического комплекса. Для оценки возможности оптимизации энергопотребления ЭМ китайскими, вьетнамскими и российскими специалистами в области прикладной энергетики и мобильности рассмотрены различные стратегии рекуперативного торможения японского ЭМ Nissan Leaf, имитационная модель которого включает субмодули тягового электродвигателя, гибридной тормозной системы, тяговой АБ и шин [13].

Для верификации адекватности разработана имитационная модель воспроизведения взаимосвязи между рабочими параметрами различных систем ЭМ и оценки их способности регенерировать энергию при торможении. Результаты моделирования сравнивались с фактическими экспериментальными данными, опубликованными исследовательской лабораторией Lab Avt (США). Относительная погрешность результатов математического моделирования процессов рекуперации энергии торможения составила 4,5%, что свидетельствует об адекватности моделирования ЭМ и возможности ее использования в качестве базы для исследования и сравнения энергоэффективности различных стратегий рекуперативного торможения.

Как показали результаты экспериментов, использование предложенной стратегии управления максимальной силой рекуперативного торможения позволяет увеличить в 2,14 раза расход энергии подзарядки АБ по сравнению с базовой стратегией управления фиксированным коэффициентом распределения тормозных сил. Альтернативная стратегия управления оптимальной эффективностью рекуперативного торможения по сравнению с базовой стратегией управления обеспечивает сокращение тормозного пути на 13,2% при увеличении на 84,4% количества энергии, вырабатываемой электродвигателем для подзарядки АБ.

Энергетическая безопасность электромобилизации обеспечивается разными методами проявления физических и других принципов и способами их реализации, в том числе - пониманием, предотвращением и контролем процесса старения тяговых АБ гибридных АКТС и ЭМ. Производители автомобилей обычно гарантируют срок службы АБ для своих ЭМ в восемь лет или 160000 км. Если оставшаяся энергоемкость АБ упадет ниже 70%, производитель АКТС гарантирует компенсацию расходов на ее замену. Надежное прогнозирование срока

службы АБ, даже для новых клеточных технологий, является сложной задачей, которую немецкая компания автомобильной контрольно-измерительной техники APL реализует с помощью экспериментальных методов и методов моделирования [14].

В зоне ее исследовательских и конструкторско-технологических интересов находятся самые разные аспекты эксплуатации АБ в приводах электрифицированных АКТС, в том числе ЭМ, и АКТС с традиционными силовыми агрегатами в виде ДВС. А их целью является обеспечение высокой работоспособности и энергоемкости АБ после пробега в 250000 км, весьма востребованных в частых периодических циклах зарядки-разрядки тяговых АБ на борту ЭМ. Особо пристального внимания, по мнению экспертов APL, заслуживают наиболее перспективные аккумуляторные ячейки с богатыми никелем катодами, позволяющими оперативно отслеживать состояние АБ с 70...90%-й работоспособностью и энергоемкостью к концу ресурса.

По реальной имитационной математической модели эксплуатации АКТС, вообще, и ЭМ, в частности, проведены виртуальные экспериментальные исследования различных аспектов процесса старения АБ. По их результатам получены уточненные данные о влиянии различных факторов внешних и внутренних воздействий на интенсивность (быстроту и период) старения АБ с использованием разных конструкционных материалов. А проведенные лабораторные стендовые и контрольные ездовые испытания позволили APL выявить доминирующие критические факторы старения АБ в многочисленных режимах эксплуатации с изменением эксплуатационных факторов в широких диапазонах, верифицированные натурными экспериментами и постпроектным или построцессным анализом. Наряду с известными факторами периодичности разрядки с продолжительностью использования тяговых АБ и температуры эксплуатации, влияющими на интенсивность их старения, сотрудниками APL удалось выявить неизвестный ранее механизм микроструктурных изменений состояния накопительных ячеек АБ.

А мониторинг состояния/температуры является одним из ключевых требований к системам управления АБ, способствующего эффективному и интеллектуальному обеспечению безопасной эксплуатации электрифицированных АКТС. В рамках исследования этой тематики сотрудниками Департамента энергетики Ольборгского университета Дания, Колледжа автоматизации Центрального Южного университета Чанши, Колледжа общего и транспортного машиностроения Чунцинского университета Китая и Кафедры автомобильной техники и мехатроники Технического университета канадской Ошавы разработан метод сквозного онлайн-мониторинга состояния, основанный на переносном многозадачном обучении [15].

Данные измерений напрямую используются для обмена информацией со сверточной нейронной сетью. Затем добавляются несколько слоев для конкретных задач для мониторинга состояния/температуры. Стратегия трансферного обучения предназначена для дальнейшего повышения точности в различных сценариях применения. Эксперименты при различных рабочих профилях, температурах и условиях старения АБ проведены для оценки метода, охватывающего широкий диапазон использования в ЭМ. Сравнение с несколькими тестами продемонстрировало превосходство пред-

лагаемого метода с большей точностью и вычислительной эффективностью.

Результаты испытательных экспериментов показали, что средняя абсолютная ошибка и среднеквадратическая ошибка оценки состояния заряда и состояния энергии составляют менее 2,31% и 3,31%, соответственно. Эти ошибки прогноза будущей температуры на пять шагов вперед составляют менее 0,89 °C и 1,29 °C, соответственно. Эта система также подходит для мониторинга АБ с истекшим сроком эксплуатации, снятых с электромобилей.

Альтернативные концепции привода и, как следствие, растущее разнообразие вариантов требуют адаптированных процессов разработки системы привода. Сотрудниками европейского подразделения в немецком Дармштадте японской транснациональной компании Horiba продемонстрированы успешные реализации комбинированного подхода к сетевому моделированию отдельных компонентов и всей контрольно-измерительной системы в целом. Они используются для стендового тестирования как АБ легковых автомобилей, так и для более предпочтительных для грузовых автомобилей и автобусов с мощным чисто электрическим и комбинированным приводом топливных элементов [16].

Они успешно реализованы для аналитической оценки возможностей водородных топливных элементов недавно созданного грузового автомобиля шведской автомобильной компании Volvo, грузового автомобиля модели GenH немецкого автоконцерна Daimler, легковых автомобилей Hyundai Xcient Full Cell южнокорейской компании и немецкого BMW iX5 Hydrogen. В этом тренде находится вся деятельность Horiba, своими возможностями поддерживающая усилия мирового автомобильного сообщества по электромобилизации. Их цели закреплены в принятой в июне 2020 г. долгосрочной водородной топливоэлементной стратегии Евросоюза, США, Японии, Китая и Южной Кореи и законодательной инициативе Евросоюза от октября 2022 г. об отказе от использования с 2035 г. ДВС в легковых автомобилях и легких коммерческих АКТС. И Horiba для всех стратегий электрификации, вообще, электромобилизации и топливоэлементной ее реализации, в частности, предлагает эффективные решения контрольно-измерительных оценок эффективности на стенах, оснащенных оригинальными приборами программной поддержкой средств автоматизации регистрации энергетических, вообще, и термодинамических, в частности, процессов. Это позволяет обеспечивать всеобъемлющая концепция стендовой стратегии с оригинальными приборно-измерительными и программно-пакетными решениями адаптивных систем лабораторного менеджмента. Благодаря этому комплексному подходу предложения Horiba находят востребованный спрос у лидеров современного автомобилестроения США, Японии, Китая, Южной Кореи и Германии.

К чисто экологическому аспекту автомобильно-электрифицированной безопасности в полной мере принадлежат организационно-технологические и законодательно-ограничительные природоохранные меры. Хотя временные выбросы NO_x с ОГ, производимые типичным гибридным автомобилем с увеличенным запасом хода, могут соответствовать требованиям правил выбросов China VI, соблюсти правила выбросов Пекина VI довольно сложно. Это связано с тем, что резкие ко-

лебания регулирования соотношения воздух-топливо в период запуска ДВС приводят к снижению эффективности преобразования трехкомпонентного каталитического нейтрализатора.

В рамках устранения этих проблем потенциал различных стратегий загрузки для соответствия требованиям Пекина VI был изучен сотрудниками китайской компании Guangxi Yuchai Machinery на легковом автомобиле с ДВС на природном газе для гибридного применения с увеличенным запасом хода [17]. Эксперименты проводились по типичному китайскому городскому автобусному циклу. Результаты анализа эксплуатационных характеристик типичного гибридного автомобиля, работающего на природном газе, с увеличенным запасом хода показали, что переходные выбросы NO_x в среднем за 30% снизились с 786 до 504 млн⁻¹ при линейном увеличении частоты вращения коленчатого вала и нагрузки на ДВС.

Таким образом достигнуто соответствие лимиту требований NO_x в ОГ Пекина VI на переходных режимах эксплуатации, даже, с небольшим запасом. В ходе исследования также изучалось использование новой разработанной стратегии загрузки ДВС в рядовой эксплуатации автомобилей. Результаты показали, что этот метод эффективно ограничивает переходные выбросы NO_x , снижая максимальные переходные выбросы NO_x за 30 с в среднем с 504 до 271 млн⁻¹.

Оценка потенциала энергосбережения и теплового комфорта салона электромобиля с CO_2 -тепловым насосом является ярким представителем комбинированного энергетически-инфраструктурного критерия совершенства и оптимизации функционирования систем привода гибридного автомобиля и ЭМ. В настоящее время система кондиционирования воздуха с тепловым насосом широко используется в ЭМ. Однако большинство предыдущих исследований по моделированию были сосредоточены на одномерных характеристиках системы, а не на трехмерном тепловом комфорте кабины/салона грузового и легкового, соответственно, ЭМ. В этом исследовании сотрудниками Колледжа энергетики и энергетического машиностроения Сианьского университета Цзяотун Китая предложена новая стратегия управления работой одно- и трехмерной системы кондиционирования воздуха с транскритическим тепловым насосом, на CO_2 в качестве хладагента/теплоносителя, основанная на модели взвешенного прогнозирования [18].

Математические характеристики нескольких термодинамических систем были получены путем одномерного расчета, а тепловая среда кабины/салона описана аппаратными возможностями трехмерного моделирования. Взвешенное прогнозируемое среднее значение «голосования» рассчитывалось на основе интерактивных трехмерных параметров тепловой среды в режиме реального времени с одновременным предоставлением управляющих сигналов для одномерной холодильно-кондиционной системы. Результаты моделирования и натурных экспериментов показали, что энергопотребление компрессора при использовании стратегии управления по критерию «прогнозируемое среднее голосование» было снижено на 9,1...33,7% по сравнению с методом предварительной установки конкретных температур.

Предложенный одно- и трехмерный метод сопряжения терморегулирования кабины/салона продемонстрировал структурированную корреляцию между системой

кондиционирования воздуха с тепловым насосом и тепловой средой. Стратегия взвешенного прогнозируемого среднего голосования снижает энергопотребление системы в пределах диапазона температурного комфорта пассажиров и предлагает новую идею управления температурой в кабине/салоне ЭМ.

Повышению экологически-энергетически-инфраструктурной безопасности функционально и эффективно способствуют разные технологические мероприятия, к числу которых относится использованием АКТС с не до конца проработанными технологично системами беспроводной зарядки, оснащенными датчиками наведения. Существующие схемы планирования траектории перемещения в системе беспроводной зарядки либо не учитывают направленные характеристики беспроводной зарядки (рис. 3), либо не могут совместно оптимизировать функцию мобильной связи и функцию «один ко многим». Поэтому целью исследования китайских специалистов из Института искусственного интеллекта и сетей будущего Пекинского педагогического университета и Объединенного международного колледжа китайского Чжухая стал поиск оптимальной схемы зарядки, позволяющей минимизировать затраты энергии в перезаряжаемых сетях [19]. Доказано, что группа зарядки может снизить затраты на мобильную связь.



Рис. 3. Система бесконтактной зарядки аккумуляторной батареи электромобиля

На основе на этой идеи оптимизируется траектория движения ЭМ при зарядке их АБ, снижающая потребление энергии мобильным устройством. Сформулирована задача формирования оптимальной группы зарядки, и доказано, что эта задача NP-трудна. В теории сложности вычислений NP-трудность (недетерминированная полиномиальная трудность по времени) является определяющим свойством класса задач. Простым примером NP-трудной задачи является задача о сумме подмножеств. Формальное определение состоит в том, что задача разрешимости является NP-трудной, если любая задача из NP может быть сведена за полиномиальное время к эквивалентному условию с решением за полиномиальное время с так называемым оракулом. Как следствие, алгоритм с полиномиальным временем для решения любой NP-трудной задачи даст алгоритмы с полиномиальным временем для всех задач в NP. Считается, что алгоритмов с полиномиальным временем для NP-трудных задач не существует, но это не доказано. Более того, класс P, в котором все задачи решаются за полиномиальное время, содержится в классе NP.

Некоторые NP-трудные задачи оптимизации могут быть полиномиально аппроксимированы до некоторого постоянного коэффициента аппроксимации или даже до любого коэффициента аппроксимации. Для решения NP-трудной задачи предложен так называемый жадный алгоритм формирования группы зарядки с приближенным соотношением $\ln N$, где N - количество датчиков, и уравнение линейного программирования, позволяющее минимизировать задержку перезарядки группы и снизить затраты энергии во время подзарядки. Эксперименты показали, что количество групп зарядки, генерируемых по этой схеме, в среднем на 24,5% меньше, чем при использовании метода базовой линии кругового покрытия. Потребление энергии снижается в среднем на 49,8% по сравнению с индивидуальной зарядкой.

Рассмотрение автомобильной и автотранспортной безопасности в энергетическом и инфраструктурном разрезах, а лучше – в их комплексе, позволяет по-новому взглянуть на эту проблему, выявив несколько комбинированных факторов оптимизации, сконцентрировав основное внимание на достижении преследуемой цели с учетом всех составных компонентов решения рассматриваемой сложной многовекторной задачи.

Заключение

Предпринятая попытка проанализировать в комплексе конструктивные, технологические и эксплуатационные аспекты автомобильной и автотранспортной безопасности электрифицированного автомобильного подвижного состава позволила выявить недостаточно полно освещаемые до сих пор узловые моменты так называемого сопряжения компонентов конструктивно-инфраструктурно-энергетической комбинаторики. Ее совместная оптимизация, несомненно, способна привести к положительно синергетическому эффекту за счет нелинейного степенного взаимодействия отдельных факторов.

© Грушников В.А., 2024

Список источников/ References

1. Harnischfrger M. Auf eigenen Wegen// Auto, Motor und Sport.- 2023, № 5.- S. 92, 94-95.
2. Stern, schnell, gut// Auto, Motor und Sport.- 2023, № 21.- S. 62-63, 68, 70.
3. von Maydell M. Zurück im Spiel// Auto, Motor und Sport.- 2023, № 21.- S. 51-52, 57.
4. Thomas J. Dingolf-King// Auto, Motor und Sport.- 2023, № 2.- S. 26-27, 32.
5. Cerchez S. Opel Corsa Electric GS// Auto, Motor und Sport.- 2023, № 24.- S. 16.
6. Lingner H. Auf EX// Auto, Motor und Sport.- 2023, № 21.- S. 18, 20.
7. Leicht L. Elektrische Aeroption// Auto, Motor und Sport.- 2023, № 21.- S. 16 - 17.
8. Backhaus R. E-Fahrzeug-Reifengrad im weltweiten Vergleich// MTZ: Motortechnische Zeitschrift.- 2023, Vol. 84, № 1.- S. 8-11.
9. Goppelt G. Elektromobilität in der USA// MTZ: Motortechnische Zeitschrift.- 2023, Vol. 84, № 11.- C. 8-9, 12-13.
10. Wennmo M. Wettbewerbsvorteile für E-Fahrzeughersteller// Maschinenmarkt (MM).- 2023, Vol. 129, № 10.- S. 39-41.

11. Zhai L., Wang C., Hou Y., Hou R., Ming M., Zhang X.// Two-level optimal torque distribution for handling stability control of a four hub-motor independent-drive electric vehicle under various adhesion conditions// Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers.- 2023, Vol. 237, № 2-3.- P. 544-559.

12. Ludwig K., Schlja A// MTZ: Motortechnische Zeitschrift.- 2023, Vol. 84, № 1.- S. 46-47, 49.

13. Le V. N., Dam H. P., Nguyen T. H., Kharitonchik S. V., Kusyak V. A. / Research of Regenerative Braking Strategy for Electric Vehicles// Известия высших учебных заведений (вузов) и энергетических объединений СНГ.- Минск: Белорус. гос. политехн. акад.- 2023, Vol. 66, № 2.- P. 105-123.

14. Schmalz M., Wagner A., Kress L., Heindt S. Alterung von Batterien verstehen, vorbeugen und beherrschen// MTZ: Motortechnische Zeitschrift.- 2023, Vol. 84, № 11 - S. 70-71, 75.

15. Che Y., Zheng Y., Wu Y., Lin X., Li J., Hu X., Teodorescu R. / Battery States Monitoring for Electric Vehicles Based on Transferred Multi-Task Learning// IEEE Transactions on Vehicular Technology.- 2023, Vol. 72, № 8.- P. 10037-10047.

16. Bodschat T., Kishi H. Flexible Testplattform zur schnelleren Validierung von Brennstoffzellen-Antriebsstraengen// MTZ: Motortechnische Zeitschrift, 2023.- Vol. 84, № 7-8.- S. 54-55, 58.

17. Guan W., Deng Yю, Ning Dю, Sheng Lю, Lin T. Research on the potential of advanced engine loading strategy in meeting Beijing VI regulatory for a range-extended hybrid gas vehicle// Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Pt D.- 2023, Vol. 237, № 2-3.- P. 560-571.

18. Zong S., Wang W., Yin X., Song Y., Huang L., Cao F., Zhang Z., Wang B. Evaluation of energy-saving potential and cabin thermal comfort for automobile CO₂ heat pump// Applied Thermal Engineering.- 2023, Vol. 228.- P. 120-129.

19. Liang Y., Yin M., Zhang Y., Wang W., Jia W., Wang T. Grouping Reduces Energy Cost in Directionally Rechargeable Wireless Vehicular and Sensor Networks// IEEE Transactions on Vehicular Technology.- 2023, Vol. 72, № 8.- P. 10840-10851.

Информация об авторе

Грушников Виктор Александрович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Отдела научной информации по машиностроению Отделения машиностроения и транспорта ВИНИТИ РАН

Information about the author

Viktor A. Grushnikov – Ph. D. (Tech.), Senior Researcher Department of Scientific Information on Mechanical Engineering Department of Mechanical Engineering and transport VINITI RAS

Статья поступила в редакцию 15.05.2024, одобрена после рецензирования 20.06.2024, принята к публикации 05.07.2024.

The article was submitted 15.05.2024, approved after reviewing 20.06.2024, accepted for publication 05.07.2024.

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

Научная статья

УДК 629.113

DOI: 10.36535/0236-1914-2024-09-8

РАЗВИТИЕ РЫНКА ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ И ЗАРЯДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Дергусова Анастасия Владимировна

a-dergousova@mail.ru

(помощник руководителя по продукту АО «Абсолютные Решения», Москва, Россия)

Ивахненко Андрей Михайлович

ivakhnenko_am@mail.ru

Фадеева Екатерина Юрьевна

faddeeva84@mail.ru

Михеев Николай Евгеньевич

man@madi.ru

(Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия)

Аннотация. Произведен анализ развития рынка электромобилей и зарядной инфраструктуры как в рамках мирового опыта, так и в рамках Российской Федерации. В качестве исходной информации использовались фактические данные по регистрации электрического транспорта, а также три сценария развития рынка электромобилей и зарядной инфраструктуры в Российской Федерации. В результате анализа выявлено, что ускоренный сценарий развития инфраструктуры электrozарядных станций (далее – ЭЗС) к 2030 году потребует наличия 322 тыс. зарядных станций (портов) при 3,2 млн. электромобилей, то есть на 1 станцию придется 10 электромобилей. Таким образом, объем рынка электrozарядной инфраструктуры в стране является дефицитным. В статье также раскрывается понятие электрической заправочной станции для электромобиля.

Ключевые слова: сценарий развития, зарядная инфраструктура, электрокар, медленные электрические зарядные станции, быстрые электрические зарядные станции, балансировка мощности, зарядная сессия

Для цитирования: Дергусова А.В., Ивахненко А.М., Фадеева Е.Ю., Михеев Н.Е. Развитие рынка электромобилей и зарядной инфраструктуры // Научный информационный сборник. Транспорт: наука, техника, управление. 2024. № 9. С. 63-70. DOI: 10.36535/0236-1914-2024-09-8.

AUTOMOBILE TRANSPORT

Scientific article

DEVELOPMENT OF THE ELECTRIC VEHICLE MARKET AND CHARGING INFRASTRUCTURE

Anastasia V. Dergousova

a-dergousova@mail.ru

(Product Manager of JSC "Absolute Technologies", Moscow, Russia)

Andrey M. Ivakhnenko
ivakhnenko_am@mail.ru

Ekaterina Yu. Faddeeva
faddeeva84@mail.ru

Nikolai E. Miheev
man@madi.ru

(Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia)

Abstract. The analysis of the development of the electric vehicle market and charging infrastructure is carried out both within the framework of world experience and within the framework of the Russian Federation. The actual data on the registration of electric transport, as well as three scenarios for the development of the electric vehicle market and charging infrastructure in the Russian Federation according to were used as initial information. As a result of the analysis, it was revealed that the accelerated scenario for the development of the infrastructure of electric charging stations (hereinafter – EHS) by 2030 will require 322 thousand charging stations (ports) with 3.2 million electric vehicles, that is, 10 electric vehicles per 1 station. Thus, the volume of the electric charging infrastructure market in the country is scarce. The article also reveals the concept of an electric gas station for an electric vehicle.

Keywords: development scenario, charging infrastructure, electric car, slow electric charging stations, fast electric charging stations, power balancing, charging session

For citation: Dergousova A.V., Ivakhnenko A.M., Mikheev N.E. Development of the electric vehicle market and charging infrastructure // Scientific Information Collection. Transport: science, technology, management. 2024. N. 9. P. 63-70. DOI: 10.36535/0236-1914-2024-09-8.

Введение

Важность климатической повестки подталкивает мировой бизнес к разработке и принятию мер по митигации изменений климата и адаптации к последствиям этих изменений.

Одной из мер является перевод существующего транспорта на электрический путем стимулирования приобретения потребителями «зеленых» автомобилей. Подписание и выполнение Парижского Соглашения в 2015 году [2], в рамках «Рамочной конвенции ООН об изменении климата», стали определяющим фактором для развития рынка электромобилей. Более двадцати государств приняли решение о введении специальных целевых показателей для электрификации и запрете продажи автомобилей с двигателями внутреннего сгорания. В свою очередь, восемь стран, включая Европейский Союз в целом, выразили свое намерение достичь полного устранения выбросов CO₂ к 2050 году.

Анализ рынка электромобилей

Согласно динамике мировых продаж электромобилей, в период 2019-2023 гг. наблюдается стремительный рост покупательского спроса (рис. 1).



Рис. 1. Динамика мировых продаж электромобилей

Количество проданных электромобилей в 2019 году составило 1,3 млн. шт., что на 35% ниже показателя 2018 года – 2 млн. шт. Падение рассматриваемого рынка вызвано сокращением программ субсидирования покупок электрического транспорта в Китае. Количество проданных электромобилей в 2020 году составило 2,9 млн. шт., что на 123% выше показателя 2019 года – 1,3 млн. шт. Количество проданных электромобилей в 2021 году составило 6,6 млн. шт., что на 128% выше показателя 2020 года. Устойчивая государственная поддержка стала одной из основных причин положительной динамики продаж электромобилей на рынках КНР (до 3,3 млн. шт.), Европы (преимущественно Германия, Норвегия, Великобритания, Франция, Нидерланды; до 2,3 млн. шт.), США (до 630 тыс. шт.). Количество проданных электромобилей в 2022 году составило 11,1 млн. шт., что на 69% выше показателя 2021 года, что обусловлено как энергетическим кризисом в Европе, так и ускоренным мировым переходом к углеродной нейтральности. Лидерами продаж электромобилей по-прежнему остаются КНР (5,9 млн. шт.), Европа (преимущественно Германия, Норвегия, Великобритания, Франция, Нидерланды; до 2,6 млн. шт.) и США (до 1 млн. шт.). В 2023 году спрос на электрифицирован-

ные автомобили продолжает быстро расти. Объясняется это вышеупомянутыми факторами, основной из которых представляет собой государственную поддержку. Показательным результатом является то, что на этап 2023 года каждый пятый производимый в мире автомобиль на электрической тяге.

Развитие рынка транспортных средств на электрической тяге в России характеризуется положительной динамикой (рис. 2), которая обусловлена несколькими факторами: информационная подготовка потенциального потребителя к малознакомому виду транспортного средства, обнуление пошлины на импорт электромобилей в страны ЕАЭС (во избежание стагнации в динамике продаж), расширение предлагаемой российскому потребителю линейки автомобильных марок, разработка отечественной продукции и иные государственные меры поддержки развития электротранспорта (льготное автокредитование и лизинг).

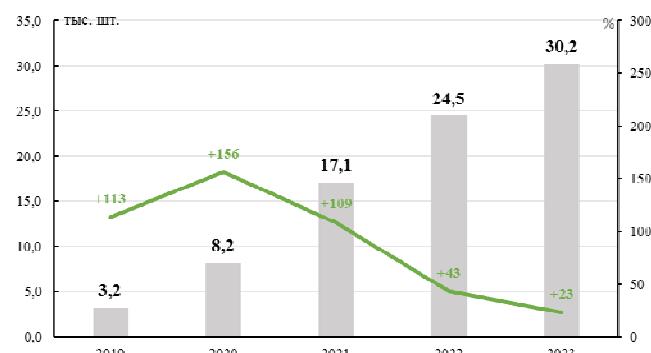


Рис. 2. Динамика регистрации электромобилей в Российской Федерации (по данным МВД России)

Результатом принятых мер по развитию рынка электромобилей в России стало его разнообразие. В таблице 1 приведены наиболее распространенные модели.

Таблица 1

Модели электромобилей мировых производителей 2019-2023 гг.

Год	Модель электромобиля
2019	Tesla Model X, Tesla Model S, Tesla Model 3, Nissan Leaf, BMW i3, Renault Kangoo Z.E., Renault Twizy, Jaguar I-Pace, Hyundai Ioniq и др.
2020	Nissan Leaf, Audi e-Tron, Tesla Model 3, Porsche Taycan, Tesla Model X, Jaguar I-Pace, Tesla Model S, Hyundai Ioniq, Hyundai Kona, Tesla Model Y, JAC iEV7S, Mercedes-Benz EQC, Peugeot Ion, Renault Twizy, Chevrolet Bolt и др.
2021	Porsche Taycan, Tesla Model 3, Audi e-tron, Tesla Model Y, Nissan Leaf и др.
2022	Tesla, Nissan Leaf, Volkswagen, АвтоВАЗ Largus, Skywell ET5, Voyah, Aurus, Dongfeng Evolute, УАЗ, Лада, ГАЗ и др.
2023	Tesla Model 3, Tesla Model S, Nissan Leaf и BMW i3, УАЗ, Лада, ГАЗ и др.

Дальний Восток является настоящим лидером продаж электромобилей в России. Здесь приобретается более 20% всех электрокаров, которые поступают на отечественный рынок. Причины такого прогресса электромобилей на Дальнем Востоке связаны с их доступ-

ностью, поскольку регион находится вдали от западной части России, но близко к Азии. Таким образом, здешние жители имеют возможность приобрести недорогие подержанные электромобили из Японии. Дальний Восток, несмотря на проблемы с экологической ситуацией, имеет свои особенности в экономике. Исторически сформировавшаяся удаленность от западной части страны определяет более высокие цены на бензин, чем в среднем по России. Однако стоимость электроэнергии здесь оказывается ниже, чем в других регионах, благодаря государственной поддержке развития территории. Таким образом, использование электромобилей, которые можно заряжать от доступной электроэнергии, помогает множеству автовладельцев существенно сэкономить. По данным Vygon Consulting, владение популярной моделью электромобиля Nissan Leaf на Дальнем Востоке сравнительно с автомобилем Lada Granta позволяет его владельцам сэкономить от 40 до 50 тысяч рублей ежегодно [9].

Также активное участие на российском рынке электрокаров принимают такие крупные города как Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург, Красноярск и их области.

Отказ от традиционных автомобилей в пользу электромобилей вызван не только экономическими выгодами за счет снижения затрат на топливо, но и положительным влиянием на окружающую среду, проявлением использования новейших технологий, государственными льготами, широким спектром моделей и, не в последнюю очередь, повышением социального статуса. Владельцы электромобилей вносят свой вклад в сохранение окружающей среды и создание более устойчивого будущего.

Согласно «Концепции по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года» [1], прогнозирующей рост общего объема электромобилей и зарядной инфраструктуры, существуют три сценария развития рынка:

Инерционный сценарий - в случае полного отсутствия стимулирования развития транспорта и инфраструктуры, к 2030 году Российская Федерация планирует произвести около 100 тысяч электротранспортных средств, причем общее их количество не превысит 540 тысяч штук. Доля электротранспорта на рынке автомобилей составит всего 5 процентов.

Сбалансированный сценарий – к 2030 году Россия планирует достичь доли электротранспортных средств в 15% рынка автотранспорта. На этот момент страна будет производить около 220 тыс. электротранспортных средств, а их общее количество превысит 1400 тыс. штук. В первые 3 года проекта наиболее активно будут поддерживаться развитие инфраструктуры и увеличение спроса.

Сценарий ускоренного развития - создание активной инфраструктуры, стимулирование спроса и ограничение использования автомобилей с двигателем внутреннего сгорания. Этот подход предполагает достижение 30% доли рынка электротранспорта и наличие 3,23 млн. электромобилей к 2030 году.

Перевод автомобилей с двигателями внутреннего сгорания на электрическую тягу в России требует создания необходимой зарядной инфраструктуры.

Согласно [4], в настоящее время существуют следующие меры государственного стимулирования (таблица 2).

Таблица 2

Меры государственного стимулирования спроса на электромобили

Вид меры	Положительный эффект мер
Субсидии, налоговые льготы и привилегии при покупке электромобиля:	Снижает стоимость покупки для конечного потребителя и обеспечивает рост спроса
субсидирование разницы стоимости между электромобилем и аналогичным ДВС, отмена транспортного налога, пошлин на регистрацию и т.д.	
Преференции при эксплуатации электромобиля: бесплатный проезд по платным дорогам, бесплатные парковки и т.д. вместе с ограничениями для ДВС вводятся в целях обеспечения развития рынка электромобилей (ограничения на въезд в центры городов для автомобилей с ДВС, повышенные транспортные и экологические налоги и т.д.).	Снижает стоимость эксплуатации и обеспечивает рост спроса
Стимулирование создания зарядной инфраструктуры: Создание и развитие зарядной инфраструктуры через прямое финансирование (субсидии) и софинансирование, кредитные и налоговые льготы компаниям, устанавливающим устройства на своей территории, застройщикам и т.д. Изменения в законодательстве, стимулирующие развитие зарядной инфраструктуры	Развитие сети частных и общественных зарядок

Концепция [1] предполагает, что 2030 году объем зарядной инфраструктуры для каждого сценария развития будет составлять не менее 10% от рынка электромобилей.

Рассмотрим динамику роста электромобилей и зарядной инфраструктуры по ускоренному сценарию (рис. 3).

Динамика роста электромобилей (для инерционного, сбалансированного, ускоренного сценариев развития) и зарядной инфраструктуры (для ускоренного сценария развития) формировалась на основании ретроспективных данных пятилетнего периода и перспективных величин 2030 года согласно Концепции [1,4,7]. Экстраполяция степенной и экспоненциальной функцией выполнялась только на основании ретроспективных отчетных данных.

Стратегия ускоренного сценария развития принята в странах Западной Европы, США и Китае. Рассмотрим ее и для России. Так, ускоренный сценарий развития инфраструктуры электрозарядных станций к 2030 году потребует наличия 322 тыс. зарядных станций (портов) (3,2 млн. электромобилей к 2030 году, на 1 станцию

10 электромобилей). В то время как в КНР уже сейчас на 1 станцию приходится по 4,5 электромобиля. Таким образом, объем рынка электрозарядной инфраструкту-

ры в стране на всем рассматриваемом периоде является дефицитным [5, 7].

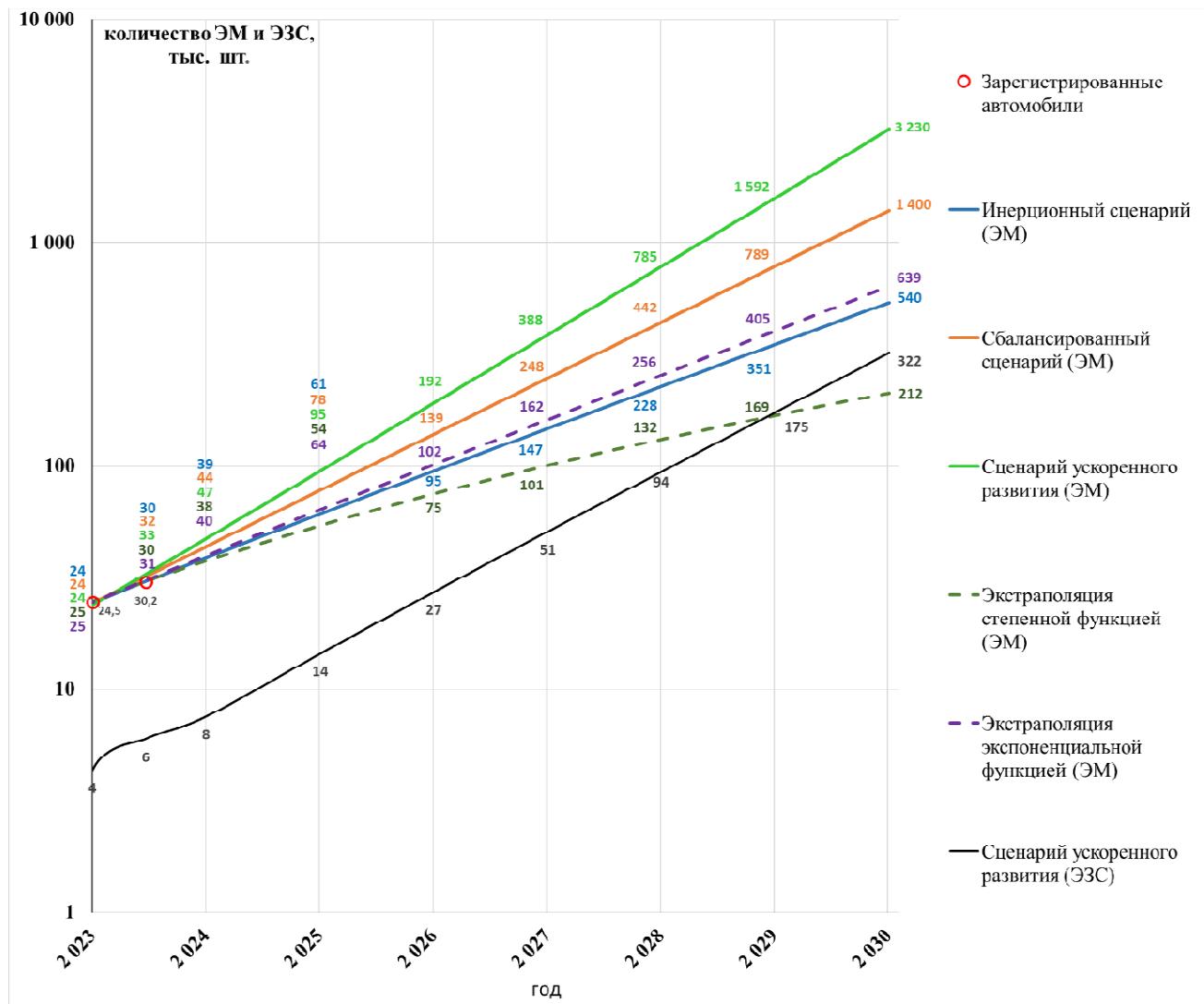


Рис. 3. Сценарии развития рынка электромобилей и зарядной инфраструктуры в России

Под зарядной инфраструктурой понимают зарядные станции для электромобилей (далее - ЭЗС). По скорости осуществления заряда электрического транспортного средства они делятся на два основных вида: медленные (ЭЗС класса Mode 3) и быстрые (ЭЗС класса Mode 4).

Основными способами старта зарядной сессии являются: Plug & Charge (начало зарядной сессии после подключения коннектора к электромобилю), RFID-карты (начало зарядной сессии после активации через карту, которая идет в комплекте поставки со станцией), APP (начало зарядной сессии после активации в приложении) [8].

Медленные ЭЗС - станции, которые заряжают электромобиль переменным током.

Электромобиль получает переменный ток от электросети через зарядную станцию и кабель, контролируемым образом, но без преобразования. Внутри электромобиля находится преобразователь AC/DC, который преобразует переменный ток в постоянный, чтобы заряжать аккумулятор. Время заряда: до 24 ч.

Медленные ЭЗС для электромобилей могут заряжать одновременно один или два электромобиля.

Но зачем автовладельцам медленные ЭЗС, если, теоретически, можно подключиться и к бытовой сети?

Во-первых, безопасность: обычные розетки могут не справиться с длительной подачей токов, которые требуются для заряда аккумулятора транспортного средства, могут нагреться и расплавиться. Зарядные станции изначально рассчитаны на высокий (по меркам домашних электроприборов) ток и безопасно работают часами, практически не нагреваясь.

Во-вторых, скорость: бытовая сеть позволит зарядить аккумулятор с мощностью менее 3,5 кВт, а зарядная станция – менее 22 кВт.

В-третьих, экономия на тарифах: зарядные станции позволяют заряжать электромобили по графику. Таким образом владелец электромобиля может дополнительно экономить на электроэнергии.

Медленные ЭЗС могут быть выполнены для электрокаров со следующими стандартами разъемов:

Типе 1 (SAE J1772, J-PLUG, J-штекер)

Разъём Type 1, широко применяемый в Японии и США, является стандартом для большинства электромобилей, выпущенных на этих рынках, а также для некоторых азиатских моделей (рис. 4).

Параметры Type 1: максимальная мощность — 7,4 кВт/ч, максимальное напряжение — 220 В, ток — 32 А [9].



Рис. 4. Разъём Type 1 (SAE J1772, J-PLUG, J-штекер)

Электромобили с разъёмом Type 1: все электромобили, произведенные в США и для импорта в США. Примеры — Nissan Leaf, BMW i3, Audi E-Tron, Chevrolet Bolt и другие марки.

Type 2 (Mennekes)

Обычно в электромобилях, произведенных в Европе или предназначенных для рынка Европейского Союза, используется разъем Типа 2, который также встречается на некоторых электромобилях китайского производства (рис. 5).

Параметры Type 2: максимальная мощность — 22 кВт/ч, максимальное напряжение — 380 В, ток 60 А [9].



Рис. 5. Разъём Type 2 (Mennekes)

Электромобили с разъёмом Type 2: Tesla, Nissan Leaf, Hyundai Ioniq, Kia Soul, VW e-golf, а также модели MG, Polestar, Renault, Ford и другие марки, нацеленные на европейский рынок.

GB/T (Guobiao standard) - AC

Разъём GB/T (AC) является стандартом в КНР и используется для электромобилей китайского производства или электромобилей, выпущенных для рынка КНР (рис. 6).

Параметры GB/T (AC): максимальная мощность — 7,4 кВт/ч, максимальное напряжение — 220 В, ток — 32 А [9].



Рис. 6. Разъём GB/T (AC)

Электромобили с разъёмом GB/T: все электромобили, произведенные в КНР и для импорта в КНР. Примеры — Tesla Model 3, S и X, Chevrolet Volt, Nissan Leaf, Renault Zoe, Hyundai Kona, Volkswagen e-Golf, JAC, Hongguan Mini и другие.

Важной функцией медленных ЭЗС является динамическая балансировка мощности. Она учитывает текущее фактическое состояние энергопотребления верхнего уровня в режиме реального времени и в зависимости от загруженности системы электроснабжения выделяет свободную мощность на систему распределения ЭЗС (рис. 7).



Рис. 7. Динамическая балансировка мощности на медленных ЭЗС

Пример: Система электроснабжения способна обеспечить мощность до 3,7 кВт. Максимальная выходная мощность ЗУ должна быть установлена на уровне 3,7 кВт (максимальный ток 16 А). Есть и другие нагрузки, подключенные к той же сети электропитания мощностью 2 кВт. В этом случае зарядное устройство получит эту информацию от счетчика электроэнергии и рассчитает оставшуюся мощность для процесса зарядки электромобиля. Таким образом, мощность зарядного устройства в описываемый момент времени составит 1,7 кВт.

Таким образом, функция динамической балансировки мощности формирует следующие преимущества:

- не нужно согласовывать дополнительную мощность на технологическое присоединение;

- предотвращает срабатывание устройств защиты из-за чрезмерных нагрузок;

- позволяет установить большее количество ЭЗС;

- возможна установка как в существующих, так и в новых зданиях;

- работает автономно и регулирует мощность зарядки электромобилей в режиме реального времени.

Быстрые ЭЗС - станции, которые заряжают электромобиль постоянным током.

Переменный ток от сети питания поступает сначала на зарядную станцию, где с помощью преобразователя AC/DC преобразуется в постоянный. Время заряда: до 1 ч.

Быстрые ЭЗС для электромобилей могут заряжать одновременно два и более электромобиля. Заряд осуществляется благодаря использованию больших силовых контактов и сечения провода в зарядном штекере. Это дорогостоящее решение, которое, в основном, используется в коммерческих целях.

Быстрые ЭЗС могут быть выполнены для электропроводов со следующими стандартами разъемов:

CCS Combo (Combined Charging System)

Разъем CCS Combo типичен для электромобилей, произведенных в США и для импорта в США (CCS1) (рис. 8), для электромобилей европейского рынка (CCS2) (рис. 9).

CCS Combo состоит из разъема Type 1 (Type 2) и двух дополнительных контактов постоянного тока, предназначенных для быстрой зарядки. Это значит, что если электромобиль оборудован портом CCS1(CCS2), то можно подключить его и к быстрой зарядке, и к медленной зарядке по Type 1 (Type 2).

Параметры CCS Combo: максимальная мощность DC — 250 кВт/ч, максимальное напряжение — 1000 В, ток — 250 А [6, 10].



Рис. 8. Разъем CCS1

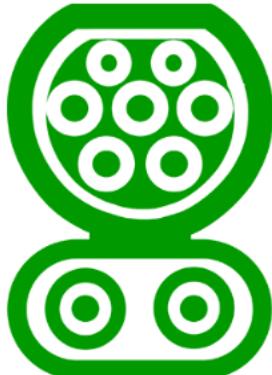


Рис. 9. Разъем CCS2

Электромобили с разъемом CCS Combo 1: все электромобили, произведенные в США и для импорта в США. Примеры — Nissan Leaf, BMW i3, Audi E-Tron, Chevrolet Bolt и другие марки.

Электромобили с разъемом CCS Combo 2: Tesla, Nissan Leaf, Hyundai Ioniq, Kia Soul, VW e-golf, а также

модели MG, Polestar, Renault, Ford и другие марки, направленные на европейский рынок.

GB/T (Guobiao standard) - DC

Разъем GB/T (DC) является стандартом в КНР и используется для электромобилей китайского производства или электромобилей, выпущенных для рынка КНР (рис. 10).

Параметры GB/T (DC): максимальная мощность — 237,5 кВт/ч, максимальное напряжение — 950 В, ток — 250 А [6, 10].



Рис.10. Разъем GB/T (DC)

Электромобили с разъемом GB/T: все электромобили, произведенные в КНР и для импорта в КНР. Примеры — Tesla Model 3, S и X, Chevrolet Volt, Nissan Leaf, Renault Zoe, Hyundai Kona, Volkswagen e-Golf, JAC, Hongguan Mini и другие.

CHAdeMO

Разъем CHAdeMO создан в Японии и используется преимущественно на азиатских электромобилях. Также можно встретить на моделях американского и европейского производства (рис. 11).

Параметры CHAdeMO: максимальная мощность — 62,5 кВт/ч, максимальное напряжение — 500 В, ток — 125 А [6, 10].

Параметры CHAdeMO 1.2: максимальная мощность — 200 кВт/ч, максимальное напряжение — 500 В, ток — 400 А [6, 10].

Также стоит упомянуть CHAdeMO 2.0 и разрабатывающийся 3.0 с более высокими показателями, для достижения их пороговых мощностей нужны будут кабели с водяным охлаждением.



Рис. 11. Разъем CHAdeMO

Электромобили с разъемом CHAdeMO: Kia Soul EV, Nissan Leaf 1 и 1.1, Nissan e-NV200, Citroen Berlingo, Daimler Smart ED, европейская версия старой Tesla Model S, Mercedes B250E.

Tesla

Стандарт Tesla — это уникальный разъём только для электромобилей Tesla. Применяется в США и странах, в которых нет ограничений на использование электромобилей с таким разъёмом (Япония, Южная Корея, Австралия и Новая Зеландия). Разъём позволяет заряжать автомобиль при максимальной мощности до 250 кВт (рис. 12) [10].



Рис. 12. Разъём Tesla

Важной функцией быстрых ЭЗС является динамическая балансировка мощности. Она используется для оптимизации распределения мощности между одновременно заряжаемыми электромобилями путем оперативного перенаправления мощности балансировочного силового модуля. Распределение происходит в автоматическом режиме и зависит от текущего уровня заряда подключенных электромобилей. Станция определяет менее заряженный из 2 и более электромобиляй и переключает на него в дополнение балансировочный силовой модуль. Как только соотношение уровня заряда меняется, балансировочный модуль динамически переключается на менее заряженный электромобиль, что позволяет значительно снизить затраты на подключение ЭЗС к сети электропитания (рис. 13).

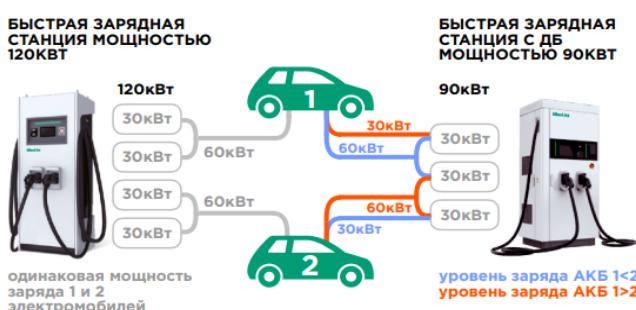


Рис. 13. Динамическая балансировка мощности на быстрых ЭЗС

Пример: рассмотрим ЭЗС постоянного тока мощностью 120 кВт (4 модуля по 30 кВт) и ЭЗС постоянного тока с динамической балансировкой мощностью 90 кВт (3 модуля по 30 кВт). При заряде двух электромобилей в 120 кВт станции постоянно работают по два модуля на каждого пользователя, то есть на каждый электромобиль будет приходиться по 60 кВт. Принцип работы ЭЗС постоянного тока с динамической балансировкой мощности отличается. В таких станциях есть некоторое количество постоянных силовых модулей на каждый коннектор и балансировочный модуль, который автоматически подключается к коннектору, по которому в данный момент времени нужно повысить величину зарядного тока.

Таким образом, функция динамической балансировки мощности формирует следующие преимущества:

- возможность одновременного заряда 2-х и более электромобилей;
- быстрый заряд постоянным током до 1 часа;
- уменьшение стоимости технологического подключения дополнительной электрической мощности.

Выводы и рекомендации

Выполненный анализ перспективного развития рынка электрического транспорта в мире и в России, в частности, показывает положительную динамику. Развитие обусловлено благоприятным воздействием на окружающую среду, экономическими выгодами (снижение затрат на топливо), использованием передовых технологий, государственными льготами, разнообразием моделей и повышением социального статуса. Лидерами продаж электромобилей в мире являются КНР, Европа (преимущественно Германия, Норвегия, Великобритания, Франция, Нидерланды) и США. В России – это Дальний Восток, а также такие крупные города как Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург и др.

Для дальнейшего развития рынка электромобилей в России ситуация с зарядной инфраструктурой должна своевременно преображаться. Сейчас весь рассматриваемый перспективный период до 2030 г. является дефицитным. В стимулировании развития главное участие принимает Государство, выработавшее ряд мер: прямое финансирование (субсидии) и софинансирование; кредитные и налоговые льготы компаниям, устанавливающим устройства на своей территории, застройщикам; изменения в законодательстве. Однако, Государство не является единственным катализатором развития. Активное участие принимают все участники рынка: поставщики ЭЗС, разработчики ПО, сетевые операторы и, конечно, сами электромобилисты. Их взаимодействие на встречах АЭТИ (Ассоциации развития электромобильного, беспилотного и подключенного транспорта и инфраструктуры) направлено на обобщение опыта, решение проблемных вопросов, защиту интересов и координацию деятельности всех ее членов.

Развитие электрического транспорта и зарядной инфраструктуры поможет минимизировать углеродный след транспортной отрасли и снизить количество респираторных заболеваний в городах.

© Дергоусова А.В., Ивахненко А.М., Фаддеева Е.Ю., Михеев Н.Е., 2024.

Список источников

1. О концепции по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года от 23 августа 2021. – Электронный ресурс – URL: <https://docs.cntd.ru/document/608396540> (дата обращения: 24.11.2023);
2. Парижское соглашение от 2015 года. – Электронный ресурс – URL: https://unfccc.int/sites/default/files/russian_paris_agreement.pdf (дата обращения: 24.11.2023);
3. Аналитический доклад «Факторы спроса на электромобили среди населения России. – М.: Издательство «Перо», 2022. – 168 с.;

4. Muhammad Shahid Mastoi, Shenxian Zhuang, Hafiz Mudassir Munir, Malik Haris, Mannan Hassan, Muhammad Usman, Syed Sabir Hussain Bukhari, Jong-Suk Ro, An in-depth analysis of electric vehicle charging station infrastructure, policy implications, and future trends, Energy Reports, Volume 8, 2022, Pages 11504-11529, <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.09.011>.

5. Brandstätter, Georg & Leitner, Markus & Ljubic, Ivana. (2020). Location of Charging Stations in Electric Car Sharing Systems. Transportation Science. 54. 10.1287/trsc.2019.0931.

6. Szterlik-Grzybek, P., & Kucharski, A. (2023). Assessment of the possibility of locating electric car charging stations using Fuzzy AHP and GIS – the case of Łódź, Poland. Economics and Environment, 84(1), 134–148. <https://doi.org/10.34659/eis.2023.84.1.540>.

7. Малафеев, О. Ю. Оценка количества и установленной мощности зарядных станций электромобилей / О. Ю. Малафеев, Д. Ю. Ермилов // Актуальные проблемы электроэнергетики: материалы VI Всероссийской (XXXIX Региональной) научно-технической конференции, посвящается 100-летию плана ГОЭЛРО, Нижний Новгород, 17–18 декабря 2020 года. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2020. – С. 218–225. – DOI 10.46960/39255930_2020_218. – EDN VZNGBG.

8. Тихонов, А. И. Заряжаем электромобиль - основные типы зарядных станций и разъемов зарядных устройств / А. И. Тихонов // Главный энергетик. – 2022. – № 3. – С. 28-35. – EDN MONIOA.

9. На Дальнем Востоке электромобиль обходится дешевле Lada Granta/Иван Медведев (август 2021 г.). – Электронный ресурс – URL: <https://www.bfm.ru/news/478916> (дата обращения: 24.11.2023).

10. Полный обзор по разъёмам для зарядки электромобилей – URL: https://sitronics-electro.com/ev_connectors_standarts_guide (дата обращения: 24.11.2023).

Информация об авторах

Дергусова Анастасия Владимировна, помощник руководителя по продукту АО «Абсолютные Решения», Москва, Россия,

e-mail: a-dergousova@mail.ru.

Ивахненко Андрей Михайлович, доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Менеджмент», Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия,

e-mail: ivakhnenko_am@mail.ru.

Фаддеева Екатерина Юрьевна, кандидат техн. наук, доцент кафедры «Менеджмент», Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия,

e-mail: faddeeva84@mail.ru.

Михеев Николай Евгеньевич, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия,

e-mail: man@madi.ru.

Information about the author

Anastasia V. Dergousova, Product Manager of JSC "Absolute Technologies", Moscow, Russia,
e-mail: a-dergousova@mail.ru.

Andrey M. Ivakhnenko, Doctor (Tech.), Professor, Head of the Department of Management, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia,
e-mail: ivakhnenko_am@mail.ru.

Ekaterina Yu. Faddeeva, Ph. D. (Tech.), Associate Professor of Chair of Management, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia,
e-mail: faddeeva84@mail.ru.

Nikolai E. Miheev, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia,
e-mail: man@madi.ru.

Статья поступила в редакцию 08.04.2024, одобрена после рецензирования 15.05.2024, принята к публикации 17.06.2024.

The article was submitted 08.04.2024, approved after reviewing 15.05.2024, accepted for publication 17.06.2024.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors' contribution: All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The authors declare that there is no conflict of interest.

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

Научная статья

УДК 621.436

DOI: 10.36535/0236-1914-2024-09-9

СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫМ ДИЗЕЛЬНЫМ ТОПЛИВОМ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Тетерин Максим Федорович

Maksim.Teterin@kamaz.ru

(Научно-технический центр ПАО «КАМАЗ»)

Калимуллин Руслан Флюрович

rkalimullin@mail.ru,

Кулаков Александр Тихонович

alttrak09@mail.ru

(Набережночелнинский институт Казанского (Приволжского) федерального университета)

Аннотация. В статье освещается проблема присутствия на отечественном рынке автомобильных дизельных топлив его фальсификатов и суррогатов. Указаны причины стабильного спроса на такие топлива. Среди них: наличие парка устаревшей автомобильной техники с двигателями низкого экологического уровня; желание владельцев АЗС заработать на продаже таких, более дешевых, топлив, выдавая их за товарные автомобильные дизельные топлива; сложность выявления суррогатного и фальсифицированного топлива. Проведен анализ суррогатных автомобильных дизельных топлив и последствия их применения в двигателях современных автомобилей. Приведены результаты мониторинга показателей качества дизельного топлива в РФ на АЗС и в ходе эксплуатации автомобильной техники КАМАЗ с 2011 по 2023 годы. Установлено, что за этот период доля дизельного топлива экологического класса 5 при эксплуатации автомобилей выросла с 0 до 79,7%. Вместе с тем, наибольшие отклонения отмечены по показателю «содержание серы» – до 19,6%. Предлагается создать систему информационной поддержки водителей об АЗС, реализующих некачественную продукцию, тем самым существенно снизить вероятность заправки ею и уменьшить риски выхода из строя двигателя и его систем и простоя автомобиля в ремонте. Также, перспективно создание на автомобилях бортовых систем предупреждения о заправке некачественным топливом.

Ключевые слова: дизельное топливо, содержание серы, пробы топлива, мониторинг, показатели качества, суррогатное топливо

Для цитирования: Тетерин М.Ф., Калимуллин Р.Ф., Кулаков А.Т. Состояние и проблемы обеспечения качественным дизельным топливом грузовых автомобилей // Научный информационный сборник. Транспорт: наука, техника, управление. 2024. № 9. С. 71-78. DOI: 10.36535/0236-1914-2024-09-9.

AUTOMOBILE TRANSPORT

Scientific article

STATE AND PROBLEMS OF PROVIDING QUALITY DIESEL FUEL FOR TRUCKS

Maksim F. Teterin

Maksim.Teterin@kamaz.ru

(Scientific and Technical Center of KAMAZ PJSC)

Ruslan F. Kalimullin

rkalimullin@mail.ru,

Alexander T. Kulakov

alttrak09@mail.ru

(Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga Region) Federal University)

Abstract. The article highlights the problem of the presence of counterfeits and surrogates on the domestic market of automobile diesel fuels. The reasons for the stable demand for such fuels are indicated. Among them: the presence of a fleet of outdated vehicles with engines of low environmental standards; the desire of gas station owners to make money by selling such cheaper fuels, passing them off as commercial automobile diesel fuels; difficulty in identifying surrogate and falsified fuel. The analysis of surrogate automotive diesel fuels and the consequences of their use in modern car engines is carried out. The results of monitoring diesel fuel quality indicators in the Russian Federation at gas stations and during the operation of KAMAZ vehicles from 2011 to 2023 are presented. It was found that during this period, the share of diesel fuel of ecological class 5 in the operation of cars increased from 0 to 79,7%. At the same time, the largest deviations were noted in the indicator "sulfur content" – up to 19,6%. It is proposed to create an information support system for drivers

about gas stations selling low-quality products, thereby significantly reducing the likelihood of refueling with it and reducing the risks of engine failure and its systems and car downtime in repair. It is also promising to create on-board warning systems on cars about refueling with low-quality fuel.

Keywords: diesel fuel, sulfur content, fuel samples, monitoring, quality indicators, surrogate fuel

For citation: Teterin M.F., Kalimullin R.F., Kulakov A.T. State and problems of providing quality diesel fuel for trucks // Scientific Information Collection. Transport: science, equipment, management. 2024. № 9. P. 71-78. DOI: 10.36535/0236-1914-2024-09-9.

Введение

Известно, что с 2016 года в Российской Федерации должны выпускаться автомобильные дизельные топлива (ДТ) только экологического класса 5, соответствующие требованиям нормативных документов ГОСТ 32511-2013 и Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 013/2011. Такие топлива назовем качественными. Не смотря на это, в сфере эксплуатации автомобилей встречаются топлива, не соответствующие этим нормативам и экологическому классу, и отнесем их к категории некачественных. К ним относятся:

- автомобильные ДТ, в целом соответствующие требованиям нормативных документов, но экологических классов 4 и ниже;
- суррогатные топлива – специальные нефтепродукты, изготовленные по собственным нормативным документам, которые могут быть использованы как заменители автомобильного ДТ;
- фальсифицированные топлива – нефтепродукты, не в полной мере соответствующие нормативным требованиям (как правило, по содержанию серы), полученные путем смешения автомобильного ДТ экологического класса 5 с аналогичным топливом, но ниже классом, либо с суррогатным топливом.

Проблема суррогатного и фальсифицированного ДТ в России актуальна достаточно длительное время, и активно обсуждается в средствах массовой информации, на конференциях различного профиля и в научных изданиях [1, 2, 3, 4]. Авторы работ отмечают, что такие топлива, по разным оценкам, составляют до 25% от объема рынка, при этом на них спрос остается стабильным.

Был проведен анализ рынка нефтепродуктов, в ходе которого выявлена возможность приобретения большого количества некачественного ДТ под видом товарного. Реализация их часто идет через интернет-площадки, доставка осуществляется бензовозами и автозаправщиками.

Выделены следующие причины присутствия некачественного ДТ на рынке [4, 5]:

1. Наличие в стране очень большого количества старых грузовых автомобилей и другой автомобильной техники. Так, по данным агентства АВТОСТАТ (<https://www.autostat.ru>) средний возраст таких автомобилей, как правило, существенно превышает 15...20 лет. Требования токсичности по ЕВРО действуют только на выпускаемые автомобили и не регулируются на парк, находящийся в эксплуатации. Количество грузовых автомобилей, оборудованных дизельными двигателями экологического класса 3 и ниже, составляет более 80%. Естественно, что в таких автомобилях, в соответствии с требованиями автопроизводителей, приемлемо применение топлива классом ниже 3. Отсутствие систем каталитической нейтрализации и «вседоступность» их топливной аппаратуры позволяет им использовать даже

суррогатное и фальсифицированное ДТ. Поэтому, у владельцев старых автомобилей стабильным спросом пользуется такое, более дешевое ДТ. Очевидно, что к «старым» автомобилям следует относить технику, выпускаемую в значительном количестве с 2022 года со сниженным экологическим классом по временным требованиям технического регламента.

2. Стремление владельцев мини-НПЗ заработать на производстве и продаже суррогатов без уплаты акцизов и налогов, что делает их дешевле товарных топлив. Кроме того, часть производителей смешивают товарное топливо с суррогатами, получая фальсификат, тем самым удешевляя его, с незначительной потерей свойств. Стремление владельцев независимых АЗС также вызывает желание заработать на продаже суррогатов и фальсификата, выдавая их за товарное топливо [6].

3. Не достаточная эффективность системы выявления суррогатов и фальсификата на этапах производства и реализации, а так же практически безнаказанность за неправомерную деятельность.

4. Некомпетентность и желание владельцев автопарков грузовых автомобилей сэкономить на затратах на топливо, применяя не товарное качественное автомобильное ДТ. Предполагая, что разница от 10 до 15 руб. за 1 литр с учетом больших пробегов и путевых расходов грузовых автомобилей, особенно магистральных тягачей с баками объемом до 1200 литров, получается существенная экономия, которая якобы перекрывает стоимость возможного ремонта двигателя, затраты от преждевременной замены моторного масла, и т.д., хотя на самом деле двигатель медленно умирает.

Можно выделить следующие проблемы, связанные с присутствием суррогатных и фальсифицированных ДТ на рынке:

1. Наносится существенный вред экологии, и при этом не учитывается значительный объем углеродного следа от такого топлива, и большое количество вредных веществ, выделяющегося при его сгорании, в том числе, из-за высокого содержания серы, ароматических углеводородов и т.д. [6]. Это препятствует усилиям государства по снижению ущерба окружающей среде, наносимого автомобилями с ДВС [4], и порождает безответственность владельцев автомобилей и утилизаторов.

2. Производители и продавцы таких топлив уходят от уплаты акцизов и налогов [7], а также ответственности за углеродный след.

3. Применение суррогатов и фальсификата добросовестными автопревозчиками часто ведет к выходу из строя элементов топливопитания двигателей, систем каталитической нейтрализации, цилиндро-поршневой группы, газораспределительного механизма и т.д., что не страхи и не компенсируется из-за трудно доказуемых причин по топливу.

Виды суррогатных дизельных топлив

В таблице 1 приведены те нефтепродукты, которые можно отнести к суррогатам ДТ, а при продаже должны так и маркироваться:

- 1) светлое печное топливо (СПЧ) по ГОСТ 10585-99;
- 2) судовое маловязкое топливо (СМТ) ГОСТ Р 54299-2010;
- 3) дистиллят газового конденсата (ДГК) ГОСТ 54389-2011;
- 4) технологическая фракция дизельного топлива ТУ 38.101567-2014;
- 5) топливо селективной очистки СТО 34005188-024-2021;
- 6) легкий вакуумный газойль СТО 19.20.26-024-60320171-2018.

Кроме указанных выше, в качестве суррогатных ДТ могут выступать и другие нефтепродукты. Значения физико-химических характеристик суррогатных ДТ

будем сравнивать с характеристиками ДТ ЕВРО экологического класса 5 по ГОСТ 32511-2013.

Светлое печное топливо - предназначено для применения в отопительных системах, имеет гораздо более высокую вязкость (в 4 раза), существенно большее содержание серы - в 500 раз (до 5% или 5000 ppm) и в 2 раза большую зольность. В нем не нормируются низкотемпературные свойства и смазывающая способность.

Судовое маловязкое топливо - предназначено для высоко- и среднеоборотных дизелей и газотурбинных установок. Его фракционный состав не нормируется. Вязкость может существенно превышать вязкость ДТ ЕВРО экологического класса 5, оно имеет очень высокое содержание серы (до 1,5% или 15000 ppm). СМТ имеет меньшее цетановое число. В СМТ нормируется смазывающая способность, однако ее значение выше, чем для ДТ ЕВРО экологического класса 5.

*Таблица 1***Основные характеристики автомобильного дизельного топлива по ГОСТ 32511-2013 и потенциальных суррогатных дизельных топлив**

Характеристики продукта	Вид топлива						
	Дизельное топливо по ГОСТ 32511-2013	Светлое печение топливо ГОСТ 10585-99	Судовое маловязкое топливо ГОСТ Р 54299 - 2010	Дистиллят газового конденсата ГОСТ 54389-2011	Технологическая фракция дизельного топлива ТУ 38.101567-2014	Топливо селективной очистки СТО 34005188-024-2021	Легкий вакуумный газойль СТО 19.20.26-024-60320171-2018
1. Фракционный состав: 10% перегоняется при температуре не менее 65% перегоняется при температуре не менее 90% перегоняется при температуре не менее	- 250 °C 360 °C	160 °C - -	Не нормируется - -	- - 360 °C	65% при 250 °C 85% при 350 °C 95% при 360 °C	- 65% при 250 °C 80% при 350 °C	Не нормируется - -
2. Плотность при 20 °C	820÷845 кг/м³	840 кг/м³	890÷900 кг/м³	750÷850 кг/м³	800÷860 кг/м³	815 кг/м³, не менее (883,9 кг/м³)	Не нормируется
3. Кинематическая вязкость при 20 °C не выше	2÷4,5 мм²/с в зависимости от марки	8 мм²/с	1,4÷11,0 мм²/с при 40°C (по марке топлива)	11,0 мм²/с	1,5÷4,5 мм²/с	Не нормируется	3,0 мм²/с
4. Цетановое число Цетановый индекс	49 не менее 46 не менее	Не нормируется Не нормируется	Цетановый индекс 35, 40, 45 (по марке топлива)	Не нормируется Не нормируется	48 не менее	Не нормируется	Не нормируется
5. Массовая доля серы, не выше	0,035 % - класс 3 0,005 % - класс 4 0,001% - класс 5	0,5 %	1,0÷1,5 %	1,0 %	0,020%	1,0%	2,5%
6. Температура вспышки, не ниже	55 °C в закрытом тигле	-	61 °C в закрытом тигле	65°C в закрытом тигле	55 °C в закрытом тигле	80 °C в закрытом тигле	61 °C в закрытом тигле
7. Температура помутнения	-	-	Минус 16 °C, не выше	Не нормируется	Не нормируется	Не нормируется	Не нормируется
8. Температура предельной фильтруемости, °C	До минус 44 °C	-	-	Не нормируется	Не нормируется	Не нормируется	Не нормируется
9. Температура застывания	-	Минус 8 °C	Температура текучести от минус 6 °C до 6 °C по марке	Не нормируется	Не нормируется	Минус 35 °C	В зависимости от вида: 20 °C, минус 5 °C, минус 20 °C
10. Зольность, не выше	0,01%	0,02%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,02%
11. Смазывающая способность: скорректированный диаметр пятна износа (wsd 1,4) при 60 °C, мкм, не более	460	Не нормируется	520	Не нормируется	Не нормируется	Не нормируется	Не нормируется

Дистиллят газового конденсата - является продуктом переработки газового конденсата, и является сырьем для производства топлив, либо может применяться как топливо для котельных. Редко используется как топливо для тяжелой техники. Имеет вязкость, которая может существенно превышать вязкость ДТ ЕВРО экологического класса 5, содержание серы в ДГК до 1% или 10000 ppm. В нем не нормируются низкотемпературные свойства и смазывающая способность.

Технологическая фракция дизельного топлива – является сырьем для дальнейшего получения ДТ, применяется в качестве топлива для отопительных систем и в некоторых тяжелых двигателях. Схожа по свойствам с ДТ экологического класса 5, но имеет более высокие плотность и вязкость, цетановое число - менее 48. Содержит серы до 0,02% или 200 ppm. В нем не нормируется смазывающая способность и низкотемпературные свойства.

Топливо селективной очистки – аналог ДТ для тяжелой техники. В нем не нормируется вязкость, цетановое число, низкотемпературные свойства и смазывающая способность. Оно имеет очень высокое содержание серы – до 1% (или 10000 ppm).

Легкий вакуумный газойль – нефтяная фракция, которая может применяться для дальнейшей переработки, либо как топливо для тяжелой техники. Имеет очень высокое содержание серы (до 2,5% или 25000 ppm) и зольность (0,02%). В нем не нормируется фракционный состав, цетановое число, низкотемпературные свойства и смазывающая способность.

Отсутствие в рассмотренных и им подобных нефтепродуктах нормирования в большинстве случаев таких показателей, как: фракционный состав, цетановое число, низкотемпературные свойства и смазывающая способность, а так же наличие высокого содержания серы и высокой вязкости, не позволяет применять их в качестве топлив в современных дизелях с системами топливопитания типа Common rail и системами селективной нейтрализации (SCR). Это может существенно ухудшить экологические показатели дизеля, привести к выходу из строя ТНВД и форсунок, катализатора SCR, ускорить старение моторного масла, увеличить нагарообразование в ЦПГ [3].

Мониторинг показателей качества автомобильного дизельного топлива в России

Известно, что в качестве меры противодействия распространению некачественного ДТ в стране проводится мониторинг ДТ. При этом мониторинг может носить как локальный характер (в рамках контроля заправки автомобилей конкретного АТП), так и проводиться на уровне республик, краев, областей и т.д.

Авторы работы [6] в качестве одной из мер противодействия обороту фальсифицированного топлива указывается «осуществление компаниями-производителями топливных продуктов постоянного мониторинга отечественного рынка в целях выявления фальсификата».

В работе [7] применительно к Республике Саха (Якутия) показана локальная проблема обеспечения качественным низкозамерзающим ДТ. В связи с этим предлагаются проводить мониторинг качества арктических дизельных топлив, ввозимых в Якутию.

В работе [8] предлагаются усиление контроля государства за оборотом нефтепродуктов.

Очень интересную работу в рамках информационного проекта «Топливо без обмана» провел РОССТАНДАРТ. Его сотрудники разработали методичку-памятку «Что нужно знать при заправке топливом на АЗС», доступную по ссылке: <https://rst.gov.ru:8443/file-service/file/load/1584451558266>. Она содержит информацию, которая будет полезна как владельцам и сотрудникам АЗС, так и потребителям топлива.

Примером контроля топлив на АЗС на региональном уровне могут служить проверки качества ДТ на заправках Татарстана в 2021 году [9].

Усиление контроля за реализацией некачественных моторных топлив является в настоящее время насущной мерой. Это связано, в том числе, и с появлением большого количества нелегальных заправок, мобильных заправочных комплексов, реализующих разные виды моторного топлива без использования сертифицированного оборудования [10].

Авторами проведено масштабное многолетнее исследование качества ДТ в регионах России. Основные задачи исследования:

- 1) провести мониторинг показателей качества ДТ, расходуемого при эксплуатации автомобилей (находящегося в баках автомобилей);
- 2) провести мониторинг показателей качества ДТ, реализуемого на АЗС;
- 3) определить показатели качества ДТ, по которым наблюдаются основные отклонения от норм ГОСТ 32511-2013;
- 4) провести сравнительный анализ показателей качества ДТ, находящегося в баках автомобилей и реализуемого на АЗС.

а) Методика и результаты мониторинга показателей качества дизельного топлива в баках автомобилей

Проведен мониторинг показателей качества ДТ с 2011 по 2023 годы. Отбор проб ДТ (1071 шт.) производился из баков автомобилей КАМАЗ при их техническом обслуживании в ходе эксплуатационных и подконтрольных испытаний. Анализ проб проводился в Центральной лаборатории топлив и масел (ЦЛТиМ) НТЦ ПАО «КАМАЗ».

В ходе анализа проб топлива определялись:

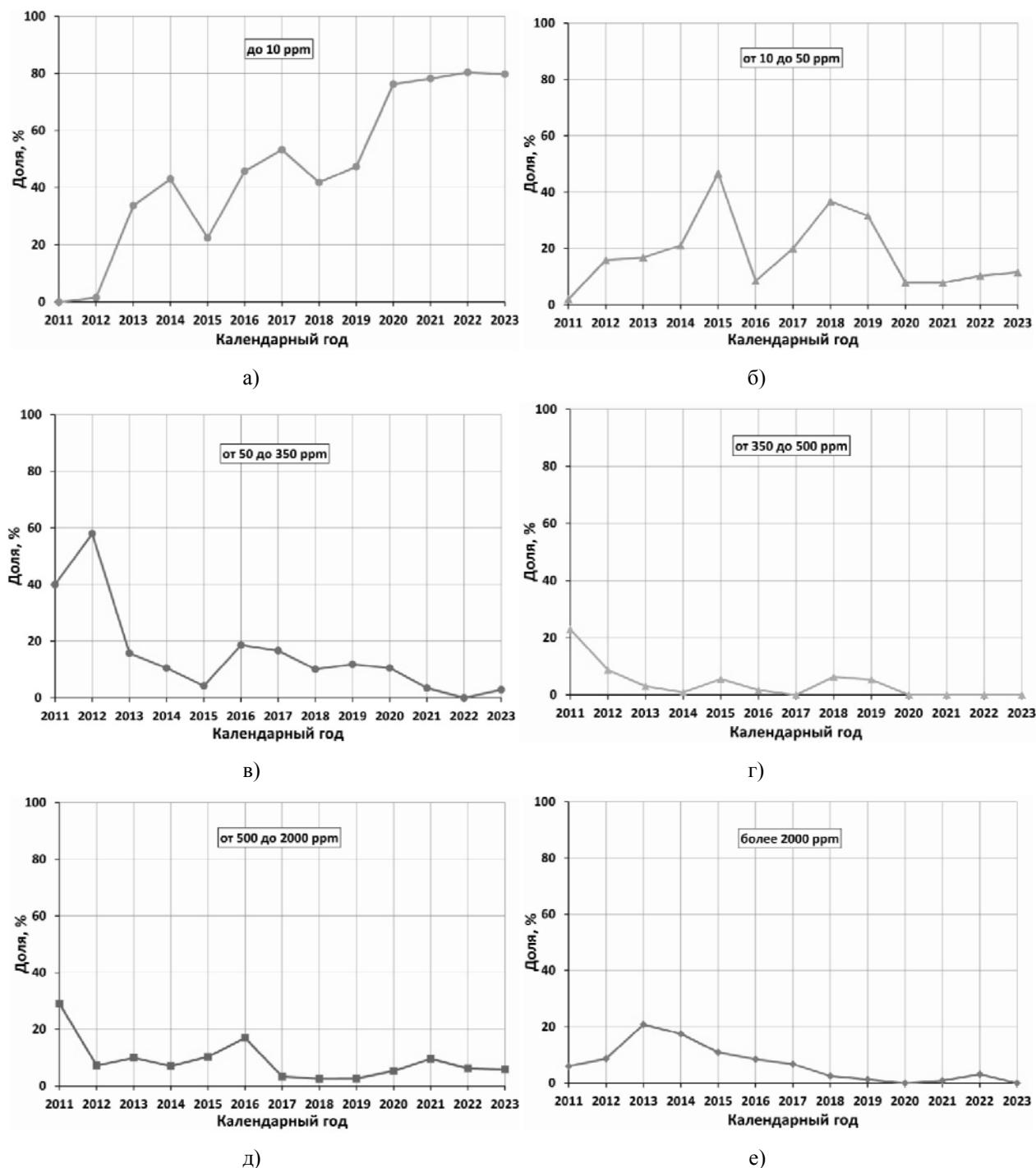
- цетановое число и цетановый индекс по ГОСТ 3122-67, ГОСТ Р 52708-2007;
- кинематическая вязкость по ГОСТ 33-2000;
- плотность по ГОСТ Р 51069-97;
- фракционный состав по ASTM D 86-01 (выборочно);
- температура вспышки в закрытом тигле по ГОСТ 6356-75;
- температура помутнения по ГОСТ 5066-91;
- предельная температура фильтрования по ГОСТ 22254-92;
- массовая доля серы по ГОСТ Р 51947-2002;
- содержание воды по ГОСТ 2477-65;
- смазывающая способность по ЕН ИСО 12156:1/2000 (выборочно).

Обобщенные результаты оценки показателей качества ДТ представлены в таблице 2.

Таблица 2

Основные отклонения показателей дизельного топлива

Показатели	Значение для летнего топлива	Значение для зимнего топлива	Количество проб ДТ с отклонением
Цетановое число, не менее	51	49	3,1%
Цетановый индекс, не менее	46	46	3,1%
Температура вспышки в закрытом тигле, °С, выше		55	6,2%
Предельная температура фильтруемости, °С, не менее	Значение для сорта	Значение для класса	2,1%
Массовая доля серы, ppm,	Экологический класс 5, не более 10		19,6%
Содержание воды, мг/кг, не более		200	5,2%



Условные обозначения к рис. 1 :

Изменение относительных долей проб ДТ с различным содержанием серы: а – до 10 ppm; б – от 10 до 50 ppm;
в – от 50 до 350 ppm, г – от 350 до 500 ppm; д – от 500 до 2000 ppm; е – более 2000 ppm.

Рис. 1. Изменение относительных долей проб ДТ в период с 2011 по 2023 годы

Установлено, что основная доля отклонений приходится на показатели «содержание серы» - до 19,6 %, и «температура вспышки в закрытом тигле» - до 6,2 %.

Учитывая, что в большинстве случаев ДТ с высоким содержанием серы также и по другим показателям не соответствует требованиям ГОСТ 32511-2013, то оно

является суррогатным. Поэтому, за интегральный оценочный показатель качества ДТ принят именно этот показатель.

Результаты мониторинга содержания серы в ДТ за период с 2011 по 2023 годы представлены на рис. 1 и 2.

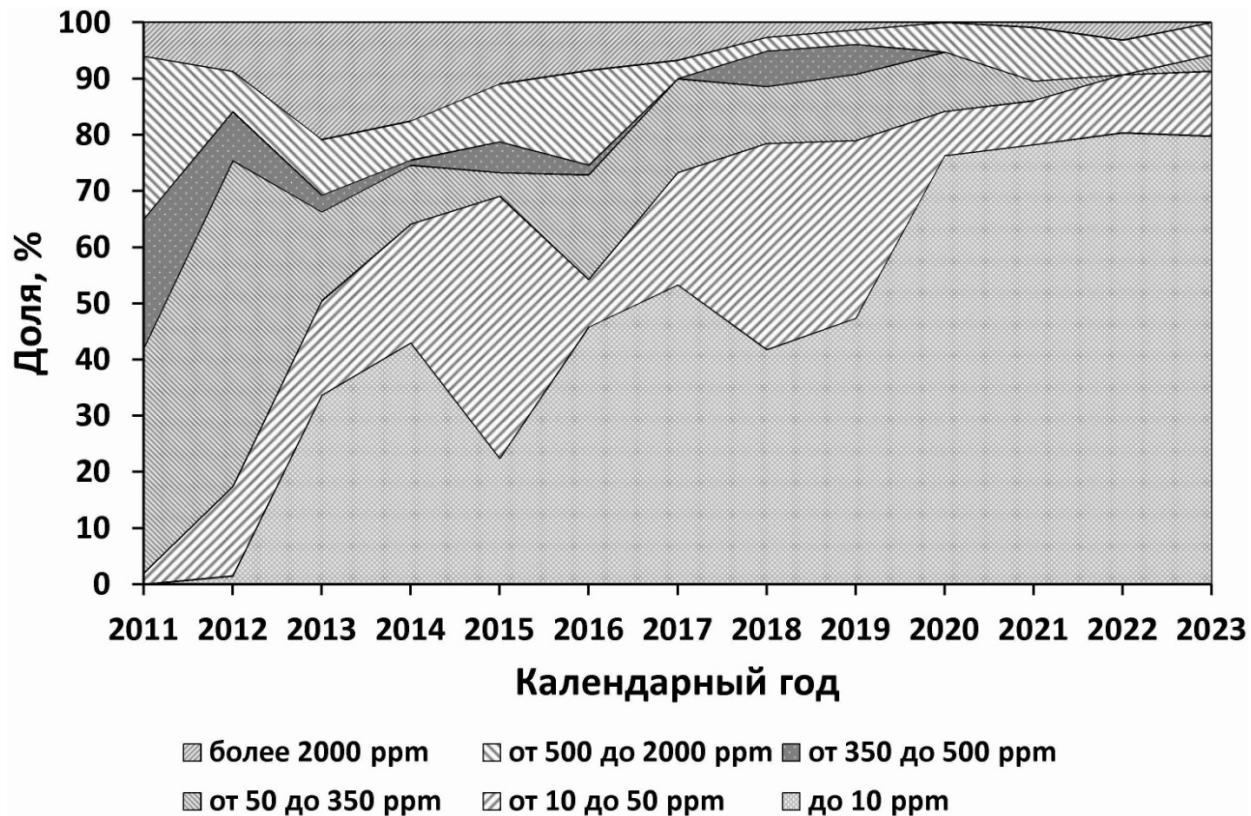


Рис. 2. Диаграмма с накоплением изменения относительных долей проб ДТ с различным содержанием серы в период с 2011 по 2023 годы

Анализ результатов мониторинга показал, что:

- доля ДТ с содержанием серы менее 10 мг/кг (экологического класса 5) выросла с 0 до почти 79,6% в 2023 году, при чем, в 2015, 2018 и 2019 годах наблюдается снижение его количества, что объясняется увеличением доли топлива с содержанием серы от 10 до 50 мг/кг (экологического класса 4);
- доля ДТ с содержанием серы от 10 до 50 мг/кг (экологического класса 4) выросла к 2015 году до 46,7%, но к 2023 году снизилась до 11,7%, при чем в 2015 году наблюдается снижение его количества до 8,5% с последующим ростом до 36,7% в 2018 году;
- доля ДТ с содержанием серы от 50 до 350 мг/кг (экологического класса 3) снизилась с 40% в 2011 году до 2,9% в 2023 году, при этом в 2012 году доля этого топлива составляла 58%;
- доля ДТ с содержанием серы от 350 до 500 мг/кг (экологического класса 2) снизилась с 23% до 0%;
- доля ДТ с содержанием серы от 500 до 2000 мг/кг снизилась с 29% до 5,8% в 2023 году, в 2016 году доля увеличилась до 16,9% с последующим снижением до 2,5%;
- доля ДТ с содержанием серы более 2000 мг/кг (не соответствующего нормативной документации) незначительна, и в 2023 году составила 0%, при этом в 2013

году наблюдался существенный рост его количества до 20,8% с последующим снижением.

6) Методика и результаты мониторинга показателей качества дизельного топлива, реализуемого на АЗС

В течение 2020 года проводился отбор проб ДТ непосредственно на АЗС известных компаний-производителей топлив (Лукойл, Газпром, Роснефть, Татнефть, Танеко, Башнефть). Анализ проб топлива проводился в Центральной лаборатории топлив и масел НТЦ ПАО «КАМАЗ».

Всего было отобрано 413 проб со 100 АЗС в 37 регионах Российской Федерации. По результатам физико-химического анализа проб установлено:

- 95,39 % - ДТ экологического класса 5;
- 2,67 % - ДТ экологического класса 4;
- 1,21 % - ДТ экологического класса 3;
- 0,73 % - ДТ экологического класса 1;
- ДТ экологического класса 2, а так же ДТ с содержанием серы более 2000 ppm не отмечено.

По максимальному содержанию серы ДТ в 10 регионах из 37 (27%) не соответствуют экологическому классу 5, а по среднему - 4 (10,8%). Регионы со значительными отклонениями ДТ по содержанию серы – это Коми, Москва и Московская область, Самарская и Тверская области, Татарстан.

Выводы

1) За период с 2011 по 2023 годы доля ДТ экологического класса 5 при эксплуатации автомобилей выросла с 0 до 79,7% и стабилизировалась на этом уровне; наибольшие отклонения отмечены по показателю «Содержание серы» – до 19,6%;

2) по результатам мониторинга в 2020 году доля ДТ, соответствующего экологическому классу 5, составила в эксплуатации 76,3%, а реализуемого на брендовых АЗС – 95,4%;

3) выявлены регионы, где повышена вероятность реализации на АЗС низкокачественного ДТ.

Заключение и рекомендации

Не смотря на принимаемые государством меры в области обеспечения автомобилей экологически чистым и качественным ДТ, все еще в сфере его оборота значительная часть приходится на некачественное топливо.

Присутствие в сфере эксплуатации автомобилей некачественных ДТ обусловлено спросом на них в виде противоречивой ситуации, сложившейся в стране в последние годы. Она заключается в том, что с одной стороны, производимое НПЗ в обязательном порядке качественное экологически чистое топливо соответствует не только требованиям технического регламента, но и требованиям производителя современной автомобильной техники, которой в стране относительно мало. С другой стороны, остальному - подавляющему большинству - возрастной автомобильной техники, согласно требованиям производителя, пригодно некачественное топливо, которое не отвечает техническому регламенту. Очевидно, что такое топливо дешевле качественного, и на него имеется очевидный спрос, который вызывает соответствующее предложение.

Выявлено, что в эксплуатации автомобилей присутствует гораздо больше некачественного ДТ, чем реализуется на АЗС. Это свидетельствует о том, что существуют альтернативные каналы его поставки потребителю, минуя АЗС. Кроме того, необходимо дополнительно исследовать причины ухудшения качества топлива в топливной системе автомобиля.

Учитывая существующую проблему обеспечения качественным ДТ, предлагается создать агентство по мониторингу и информации о качестве топлива. На его основе может быть создана система информационной поддержки водителей о недобросовестных АЗС, тем самым можно существенно снизить вероятность заправки некачественной продукцией, уменьшить риски выхода из строя двигателя и его систем, и простоя автомобиля в ремонте. Также, перспективно создание на автомобилях бортовых систем предупреждения о заправке некачественным топливом.

© Тетерин М.Ф., Калимуллин Р.Ф., Кулаков А.Т. , 2024.

Список источников

1. 26 ноября 2019. Шестая часть хуже: около 15% дизельного топлива в России — суррогат. Больше всего проблем с зимним горючим, каждый четвертый литр которого — подделка. Михаил Калматский. URL: <https://iz.ru/947139/mikhail-kalmatskii/shestaia-chast-khuzhe-okolo-15-dizelnogo-topliva-v-rossii-surrogat> (дата обращения: 01.02.2024).

2. 15 ноября 2019. Росстандарт рассказал, в каких регионах РФ наибольшая доля суррогатного топлива. В числе «лидеров» оказались Крым, Дагестан и Свердловская область. URL: <https://neftegaz.ru/news/petroleum-products/506361-rosstandart-rasskazal-v-kakikh-regionakh-rf-naibolshaya-dolya-surrogatnogo-topliva/> (дата обращения: 01.02.2024).

3. Влияние показателей качества дизельного топлива на работу автомобильного двигателя / С. В. Касьянов, М. Ф. Тетерин, О. В. Миронова, Т. Г. Салахутдинова // Автотранспортный комплекс 3.0. Актуальные проблемы и перспективы развития : Материалы международной научно-практической конференции, Грозный, 28–30 апреля 2023 года. – Грозный: Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщика, 2023. – С. 53-59. – DOI 10.26200/GSTOU.2023.68.55.007. – EDN YIPVQX.

4. Исследовательская группа «Петромаркет». URL: http://www.petromarket.ru/?r=public_11 (дата обращения: 16.01.2024).

5. Митусова, Т. Спрос на высокосернистое дизтопливо будет удерживаться еще долго / Т. Митусова // Нефтегазовая вертикаль. – 2008. – № 11. – С. 19-21.

6. Бойко, О. А. Оборот контрафактного и поддельного моторного топлива: детерминанты и меры противодействия / О. А. Бойко, С. Л. Панов, А. В. Ревягин // Научный вестник Омской академии МВД России. – 2019. – № 1(72). – С. 22-27.

7. Иовлева, Е. Л. Исследование качества арктического дизельного топлива привозимого в Республику Саха (Якутия) / Е. Л. Иовлева // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2018. – Т. 80. – № 3(77). – С. 358-361. – DOI 10.20914/2310-1202-2018-3-358-361

8. Булатников, В. В. О контрафактных моторных топливах / В. В. Булатников, В. А. Хавкин // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2016. – № 8. – С. 13-14.

9. На заправках Татарстана началась проверка качества бензина и дизельного топлива. URL: <https://www.tatar-inform.ru/news/v-xode-mesyacnika-po-monitoringu-kachestva-topliva-na-azs-tatarstana-vzyato-bolee-300-prob-5841340>. (дата обращения: 01.02.2024).

10. В России призвали усилить контроль за качеством топлива. URL: <https://www.autonews.ru/news/64ac1e699a794727198ee3b8?from=sCopy>. (дата обращения: 12.02.2024).

Информация об авторах

Тетерин Максим Федорович – главный специалист по химмотологии; Научно-технический центр ПАО «КАМАЗ».

423807, Республика Татарстан, г. Набережные Челны, просп. Автозаводский, д. 23, тел. Моб: +7-906-122-90-34.

Калимуллин Руслан Флюрович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации автомобильного транспорта; Набережночелнинский институт Казанского (Приволжского) федерального университета.

423812, Республика Татарстан, г. Набережные Челны, просп. Сююмбике, д. 10А.

Тел. моб: +7-912-847-16-44.

Кулаков Александр Тихонович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры эксплуатации автомобильного транспорта; Набережночелнинский институт Казанского (Приволжского) федерального университета.

423812, Республика Татарстан, г. Набережные Челны, просп. Сююмбике, д. 10А.

Information about the author

Maksim F. Teterin - Scientific and Technical Center of KAMAZ PJSC.

423807, Republic of Tatarstan, Naberezhnye Chelny, ave. Avtozavodsky, 2E,
tel. Mobile: +7-906-122-90-34.

Ruslan F. Kalimullin - Doctor (Tech.), Professor Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga Region) Federal University.

423812, Republic of Tatarstan, Naberezhnye Chelny, ave. Syuyumbike, 10a. Language.
tel. mobile: +7-912-847-16-44.

Alexander T. Kulakov - Doctor (Tech.), Professor Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga Region) Federal University.

423812, Republic of Tatarstan, Naberezhnye Chelny, ave. Syuyumbike, 10A.

Статья поступила в редакцию 28.02.2024, одобрена после рецензирования 11.04.2024, принятая к публикации 16.05.2024.

The article was submitted 28.02.2024, approved after reviewing 11.04.2024, accepted for publication 16.05.2024.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors' contribution: All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The authors declare that there is no conflict of interest.

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

Научная статья

УДК 656.022

DOI: 10.36535/0236-1914-2024-09-10

МЕТОД ОЦЕНКИ ВКЛАДОВ ОТДЕЛЬНЫХ СТРУКТУР В ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМЫ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК

Носков Александр Александрович,
noskovanton@melarin.ru
(Группа компаний «Миларин»)

Терентьев Алексей Вячеславович
aleksej.terentev.67@bk.ru

(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

Арифуллин Илья Владимирович
i_arifullin@mail.ru

(Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ))

Аннотация. В статье представлен метод оценки структурной эффективности системы грузовых автомобильных перевозок, предназначенный для управления качественными показателями в отрасли. Разработанный метод позволяют реализовать цифровую технологию управления в виде получения объективных оценок эффективности автотранспортных предприятий, агрегированных по количеству подвижного состава. Эффективных отдельных видов автотранспортных предприятий определяется как комплексная оценка взаимодействия в сложной многоуровневой многокритериальной системе. Разработанный метод может быть масштабирован для применения в системах межотраслевого управления.

Ключевые слова: автотранспортное предприятие, грузовые перевозки, сложная система, информационная ситуация, многокритериальная задача, эффективность

Для цитирования: Носков А. А., Терентьев А. В., Арифуллин И. В. Метод оценки вкладов отдельных структур в эффективность системы грузовых автомобильных перевозок // Научный информационный сборник. Транспорт: наука, техника, управление. 2024. № 9. С. 79-85. DOI: 10.36535/0236-1914-2024-09-10.

AUTOMOBILE TRANSPORT

Scientific article

METHOD OF ASSESSING THE CONTRIBUTION OF INDIVIDUAL STRUCTURES TO THE EFFICIENCY OF THE ROAD FREIGHT TRANSPORTATION SYSTEM

Anton A. Noskov
noskovanton@melarin.ru
(Group companies «Milarin»)

Alexey V. Terentyev
aleksej.terentev.67@bk.ru

(St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

Ilya V. Arifullin
i_arifullin@mail.ru

(Moscow automobile and road construction state technical university (MADI))

Abstract. The article presents a method for assessing the structural efficiency of the truck transportation system, designed to manage quality indicators in the industry. The developed method makes it possible to implement digital control technology in the form of obtaining objective estimates of the efficiency of motor transport enterprises, aggregated by the number of rolling stock. Efficient individual types of motor transport enterprises are defined as a comprehensive assessment of interaction in a complex multi-level multi-criteria system. The developed method can be scaled for use in cross-industry control systems.

Keywords: trucking company, freight transportation, complex system, information situation, multi-criteria task, efficiency

For citation: Noskov A. A., Terentyev A. V., Arifullin I. V. Method of assessing the contribution of individual structures to the efficiency of the road freight transportation system // Scientific Information Collection. Transport: science, equipment, management. 2024. № 9. P. 79-85. DOI: 10.36535/0236-1914-2024-09-10.

Введение

Для достижения целей Стратегии цифровой трансформации РФ в качестве одной из основных задач декларируется задача цифровизации грузовых перевозок и цифровизация управления транспортным комплексом, то есть комплексная цифровизация всей системы ГАП.[1,2,9]. Необходимость изменений продиктована рядом показателей, сопровождающими деятельность транспорта в РФ в последние десятилетия. Проанализируем приведенные статистические данные. Автомобильный транспорт на протяжении последних двух десятилетий играет основную роль в коммерческом транспорте РФ, при этом удельный вес показателя грузооборот автомобильного транспорта (млрд. тонн. - км) в общей структуре видов транспорта снижается с 52 до 46 %, а удельный вес показателя объем перевозки (млн. тонн) снижается с 74 до 67 %. Локальный анализ данных показывает незначительное изменение количественных показателей не свидетельствует о наличии сколько бы значимых негативных процессов, влияющих на показатели эффективности АТ в сравнении с другими видами транспорта. Можно сделать вывод том, что происходит закономерный и устойчивый процесс

перераспределения объемов перевозок на другие виды транспорта, в первую очередь, на железнодорожный транспорт. Но следует отметить следующие тенденции:

1. Значение показателя грузооборот на автомобильном транспорте выросло в 1,83 раза.

2. Значение показателя объем перевозок сократилось в 1,1 ... 1,2 раза.

Можно констатировать, что рост показателя грузооборот превышает рост показателя объем перевозки, и данная негативная тенденция может быть обусловлено двумя причинами: либо расширяется география перевозок, что связано с увеличением среднего расстояния перевозки 1 тонны груза, либо неэффективны процессы управления грузовыми перевозками, что в конечном итоге приводит к необоснованному росту затрат на эксплуатацию подвижного состава. Для уточнения первоначальной оценки и выводах об эффективности процессов управления ГАП следует определить: насколько изменилась география ГАП в РФ за исследуемый период. Для этого произведем анализ изменения распределения грузопотоков и объемов перевозок в субъектах РФ за исследуемый период (рис. 1 и 2).

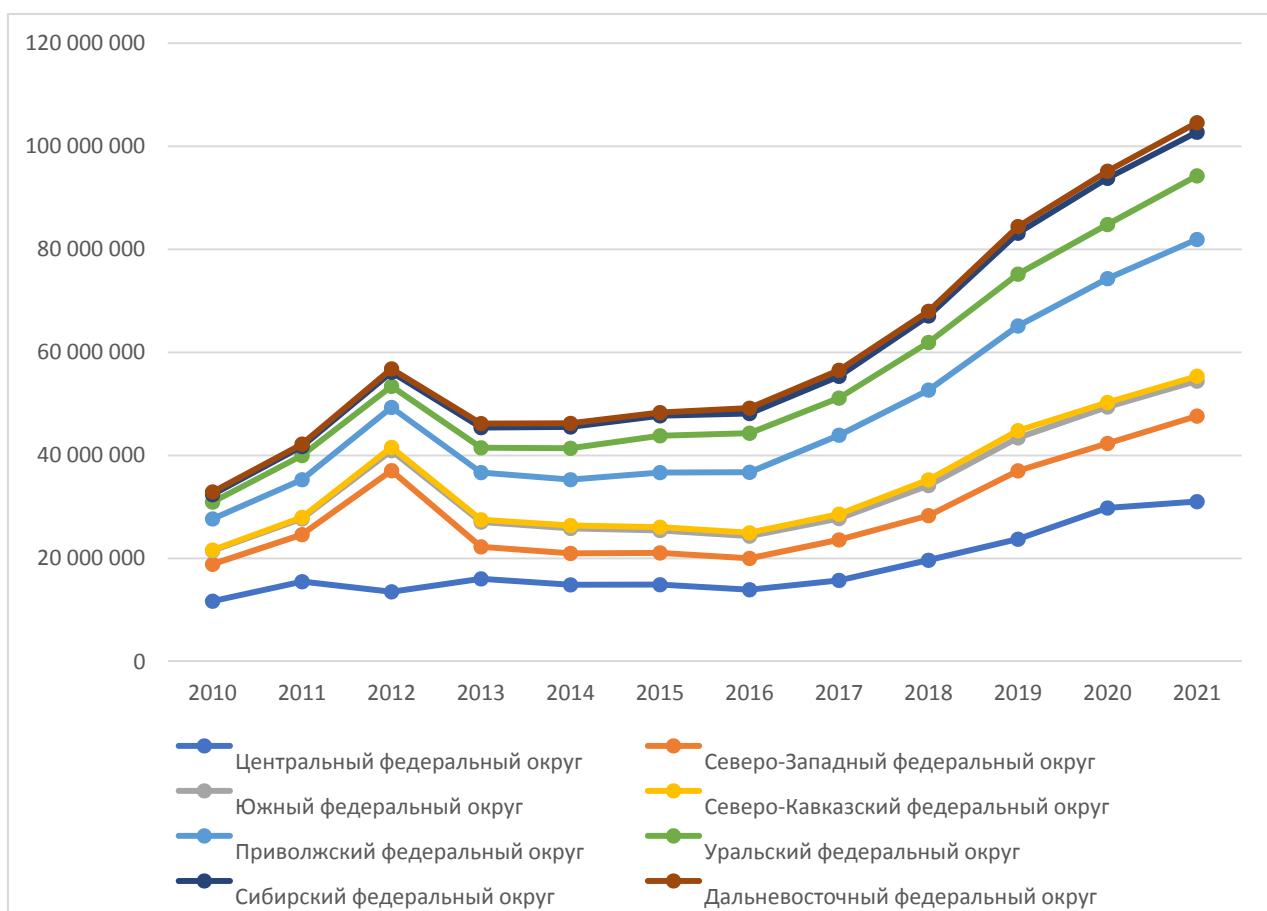


Рис. 1. Динамика изменения показателя грузооборот для коммерческих перевозок (млн. тонн. км) по федеральным округам РФ.
Источник: разработано авторами по данным Росстат [10]

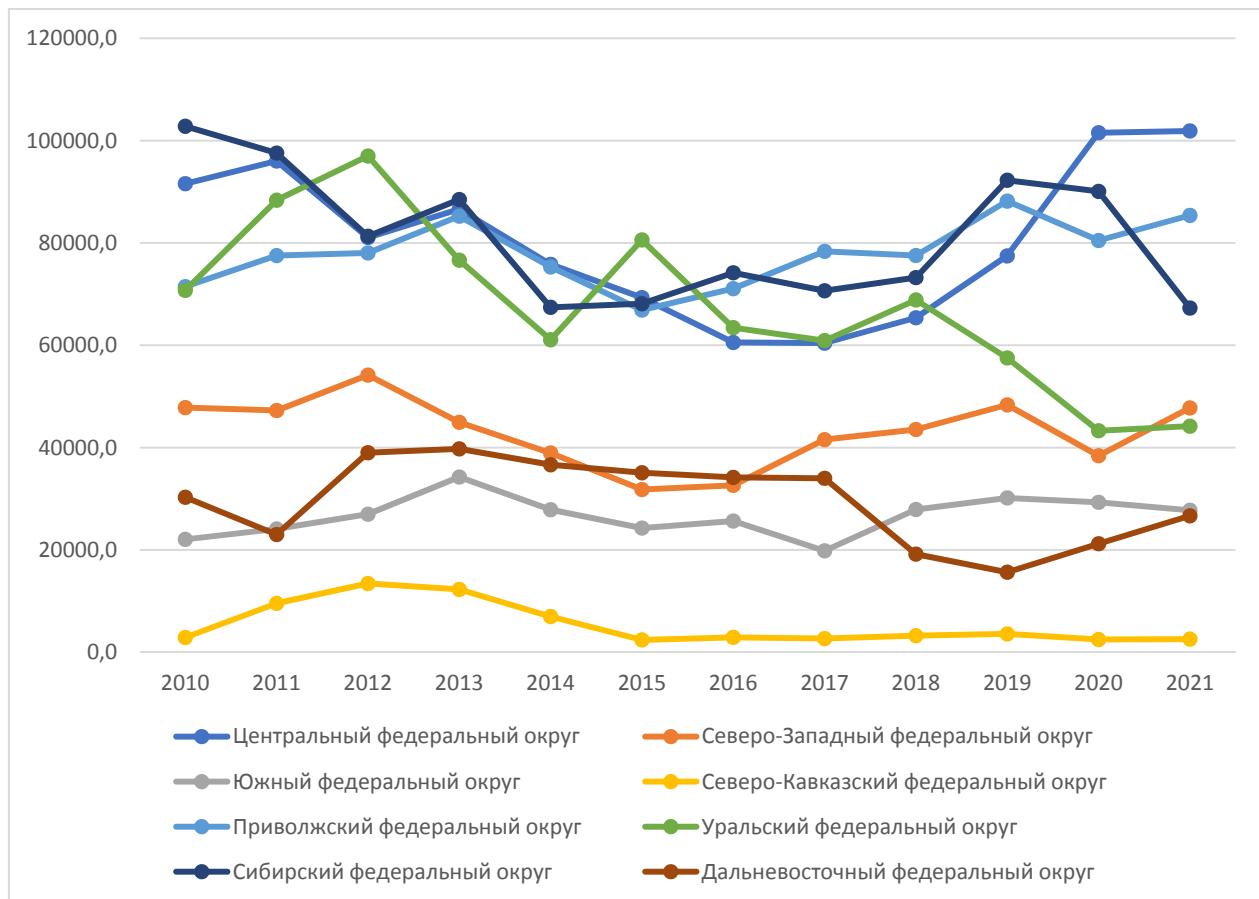


Рис. 2. Динамика изменения показателя объем коммерческих перевозок (тыс. тонн) по федеральным округам РФ.
Источник: разработано авторами по данным Росстат [10]

Итак, анализ рисунков 1 и 2 показывает:

1. Изменение показателя грузооборот для коммерческих перевозок (млн. тонна-км) по федеральным округам РФ динамически стабильно, то есть отношение приращения ординат исследуемого показателя к приращению аргумента является величиной постоянной, за исключением данных, относящихся к 2012 г. когда наблюдается снижение величины грузооборота в Сибирском федеральном округе.

2. При изучении динамики показателя объем перевозки важное значение имеет взаимное относительное изменение показателя. В данном случае величина взаимных отклонений (расхождение и схождение исследуемых зависимостей), как проявление дисбаланса в географии ГАП, которое может говорить об увеличении (снижении) объемов перевозок в каком-либо направлении. Здесь же динамическая ситуация, как и в случае с величиной грузооборота остается величиной постоянной, за исключением двух округов (Центральный и Уральский) в период 2019...2021 гг.

Можно сделать вывод, что в сегменте ГАП транспортной отрасли РФ существует тенденция объективного систематического роста и расширения структуры отрасли, но при этом наблюдается экстенсивный характер изменения результативных показателей эффективности, что в немалой степени зависит от географического расположения хозяйствующих субъектов. Результаты данных наблюдений говорят о следующем:

✓ с одной стороны, значительно усложняется решение задач Стратегии цифровой трансформации, так как приводит к необходимости разработки методологии

цифрового управления в сложной системе, которая должна оперировать разнообразным по количественному объему и разнородным по качественному объему факторным пространством;

✓ с другой стороны, неоднородность исследуемой системы всегда означает наличие значительных ресурсов и возможностей к увеличению её эффективности без дополнительных внешних ресурсов, то есть за счёт выравнивания и стабилизации качества элементов внутренней среды.

Материал и методы

Таким образом определяется необходимость создания новой научно-обоснованной методологии, положенной в основу системы планирования и прогнозирования ГАП на базе цифровых технологий. Актуальность методологии цифровизации управления ГАП диктуется неэффективностью существующих моделей транспортного планирования, что подтверждается наличием критических недостатков в организации транспортной системы, приводящими к следующим негативным эффектам:

- 1) Значительные дополнительные экономические затраты (с учетом социальных рисков, вредные выбросы в атмосферу и т.д.) на перевозки в смешанном сообщении на значительные расстояния - 750 млрд. руб. из-за недостаточного развития интермодальных технологий и неэффективной организации мультимодальных перевозок.

- 2) Показатель удельных транспортно-логистических издержек по отношению к внутреннему валовому

продукту (ВВП) в Российской Федерации выше среднемировых на 3...4 % (14,2 % в РФ и 11 % - среднемировое значение). Причем в сравнении с развитыми странами ЕС данный показатель отстает на 5...6 %.

3) Уровень развития организации мультимодальных перевозок при транспортировании не сырьевых ресурсов в 2...3 раза ниже по сравнению с уровнем развития, основанном на лучших мировых практиках.

4) Недопустимо низкая производительности труда (в 4 раз ниже чем в группе развитых стран и в 2 раза ниже в группе развивающихся стран) в транспортном производстве РФ: «На 1-го занятого работника в транспортном производстве приходится 1,2 млн. руб./год. от ВВП транспортного комплексе, в 3 раза ниже уровня в группе развитых стран и в 2 раза ниже уровня лидеров по этому показателю из группы развивающихся стран» [9].

5) Цифровая система учета и обработки документов (цифровой документооборот) на зачаточном уровне развития. Ежегодно оформляется огромное количество документов (3 млрд) на бумажных носителях.

6) Уровень контейнеризации грузовых автомобильных перевозок в РФ 2 ... 3 раза ниже в сравнении со странами, которые являются доминирующими в области предоставления качественных транспортно-логистических и экспедиционных услуг.

Важно отметить, что контейнерные автомобильные перевозки нужно рассматривать как основной сегмент в системе АТ, неотрывно связанный с структурой товарного производства и имеющий не используемые резервы для повышения эффективности эксплуатации подвижного состава в системе управления ГАП в РФ.

Рассмотрим потенциальные возможности контейнеризации грузовых перевозок в РФ на базе сравнения их показателей с показателями, упоминаемыми выше группы развитых стран (таблица 1). Анализируя данные табл. 1 можно сделать вывод о возможности повышения уровня контейнеризации ГАП к 2035 году в 1,5...2 раза для автомобильного транспорта и 2...4 раза для ж/д транспорта (таблица 2).

Таблица 1

Индикаторы контейнерных перевозок в РФ для авто- и ж/д транспорта

Вид транспорта	Ед. изм.	Доля контейнерных перевозок в общем объеме перевозок грузов						
		2010	2011	2015	2018	2020	2024	2030
Железнодорожный транспорт	%	1,9	2	3,1	4,2	5,6	6,9	8,8
Автомобильный транспорт	%	0,8	0,8	1,2	2	2,4	2,5	3

Подведем итоги анализа функционирования системы АТ в РФ и сформулировать ряд положений:

1. АТ играет основную роль в товарообороте РФ, так как его доля в общем объеме перевозок достигает 70%, но на протяжении последних десятилетий отсутствует положительная динамика в развитии количественных показателях роста в отрасли

2. Система организационных и производственных отношений на АТ требует достижение оптимальных показателей по ряду сложных свойств и противоречивого характера критериев целеполагания в условиях сложного факторного пространства.

3. В сегменте ГАП транспортной отрасли РФ существует тенденция объективного систематического роста и расширения структуры, но при этом наблюдается экспансивный характер изменения результативных показателей эффективности, что в немалой степени зависит от географического расположения хозяйствующих субъектов.

Перечисленные положения обосновывают необходимость создания новой научно-обоснованной методологии, положенной в основу эффективной системы планирования и прогнозирования ГАП на базе цифровых технологий, позволяющей оперировать разнообразным по количественному объему и разнородному по качественному объему факторным пространством.

Теория

Информационной системы управления качеством контейнерных автомобильных перевозок строится в соответствии с общими принципами построения Интеллектуальных Транспортных Систем (ИТС) для транспортной отрасли, изложенными в соответствующих нормативных и научно-исследовательских материалах [11,12,13,14]. Наиболее перспективна для ИТС в транспортной отрасли распределенная архитектура, благодаря которой система легко масштабируется. За счет этого, сеть на базе данной архитектуры можно охватить множество удаленных и двигающихся объектов, объединенных высокоскоростной локальной сетью, предоставить в сети сервисы телефонии, видео- и данных для пользователей удаленных офисов и подразделений, объединенных IP сетью [15]. ИТС является частью интернет-пространства.

Такой переход с точки зрения проектируемой системы требует, в первую очередь, создания надежных и высокоскоростных каналов связи, которые могут обеспечить требования непрерывности и высокой скорости информационного обмена, которые вытекают из технологических особенностей дорожно-транспортной системы. С другой стороны, должно быть уделено внимание сжатию передаваемой информации с помощью предварительной обработки в периферийном оборудо-

вании, устанавливаемом на ТС и дорожных объектах, а также, оптимизации графиков передачи информации и программной конфигурации различных типов коммуникационных сетей, используемых для этой цели. Рассмотренные факторы являются существенными аргументами необходимости при создании архитектуры информационных транспортных системам перехода в киберпространство, реализуемое в надежных облачных сервисах [16].

Общий принцип построения заключается в том, что каждому объекту в ИТС, существующим в реальном мире, сопоставляется виртуальный образ в соответствующей ячейке облака, в котором в виде математических моделей, баз знаний и данных отображаются соответствующие параметры и свойства реальных объектов. Для этого создаются «виртуальные образы» каждого объекта, а именно, паспорта транспортных средств, водителей, диспетчеров, средств связи, идентификации и авторизации, технологических систем регулирования и управления транспортной инфраструктурой, элементарных участков дорог, перекрестков и т.д., а также диспетчерская система, интегрирующая все подсистемы и объекты в единый транспортный комплекс.

Задача управления в ИТС, в том числе и управления качеством в сложных организационных системах ГАП, в широком смысле состоят в том, чтобы выбрать оптимальную структуру управляющей части программы и параметры управляющей части программы, а затем непрерывно формировать оптимальные программы управления, обеспечивающие достижение экстремальных главного критерия, или интегрального критерия, или многокритериальной системы показателей эффективности организации и производства, с учетом ограничений и связей, накладываемых внутренними и внешними свойствами исследуемой среды. Реализовать ИТС возможно, только на основе специальных математических алгоритмов, объективно идентифицирующих объекты ИТС в виде количественных и качественных измерителей и сложную систему связей между исследуемыми объектами. Алгоритмы, реализующие данный подход представлены в [17, 18, 19].

Результаты

Математическая модель организационного процесса кладется в основу общей схемы проектирования. Система оценки эффективности организации автомобильных контейнерных перевозок приведена на рис. 3.

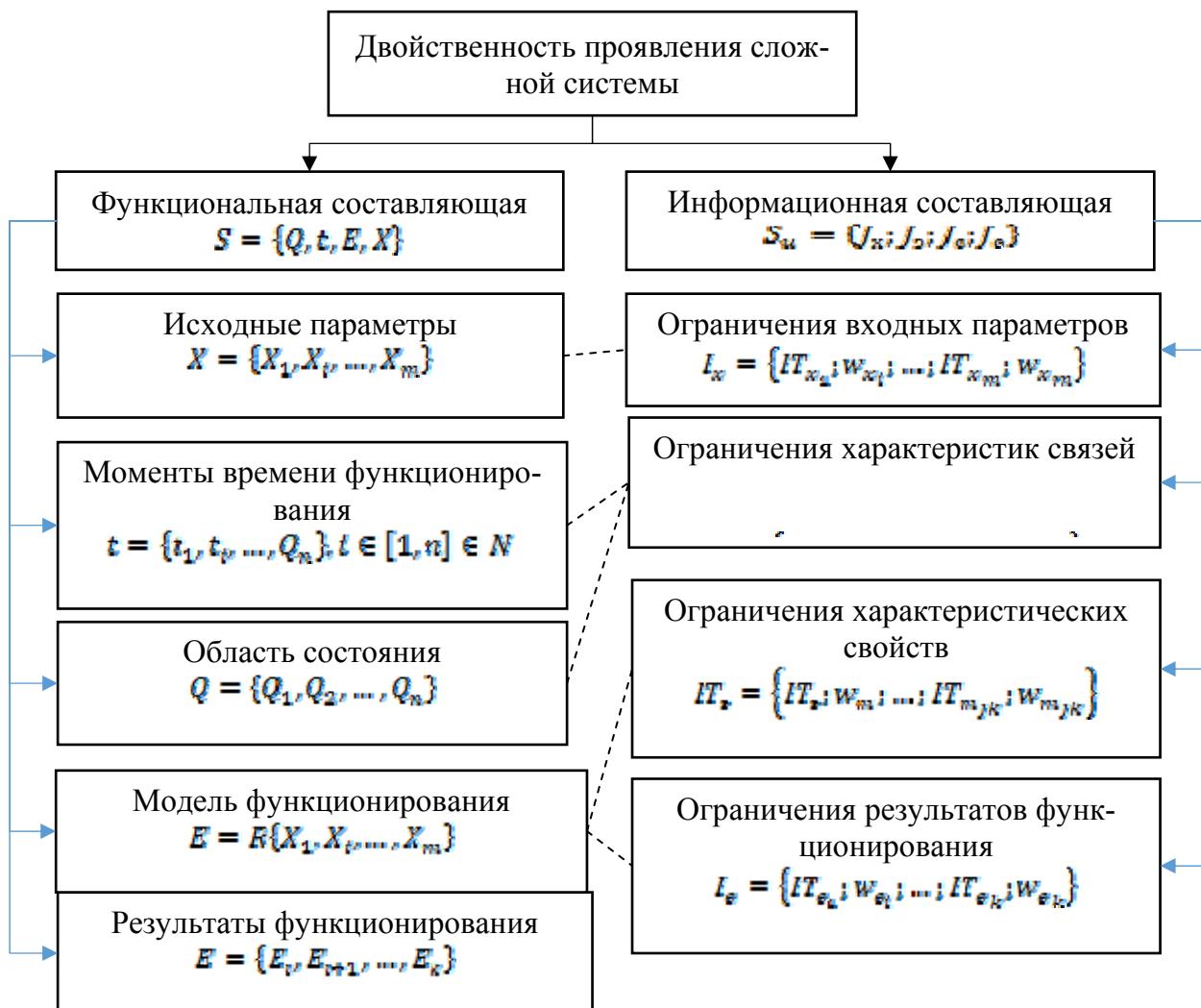


Рис. 3. Многоаспектность сложной системы. Источник: разработано авторами.

Математическое обеспечение включает в себя технологический банк данных, специализированную информационную систему и пакеты прикладных программ (ППП). Сложность построения математической модели ИТС определяется с одной стороны недостаточной степенью изученности информационных состояний (решение нужно принимать в условиях недостаточности информации или неопределенности), а с другой стороны необходимостью обеспечений требований детализации исследуемый процессов. В ИТС количество исследуемых процессов достаточно велико, как и велико количество факторов влияния на эффективность протекания данных процессов. Обычно в таких случаях сначала формализуют отдельные операции, стоят их модели, а затем описывают взаимодействие между ними. Важно, чтобы на этапе построения математической модели выбрать математические методы и инструментарий, который:

- 1) объективно соответствует информационному состоянию исследуемый процессов;

2) позволяет описывать систему в форме, пригодной для последующей алгоритмизации и разработки ППП (дискретная математика, теория множеств, математическая логика и т.д.).

Обсуждение

Анализ структуры автотранспортной системы в РФ показывает, что если не рассматривать АТП, осуществляющие перевозки для собственных нужд, то доля крупных АТП, положительно влияющих результативные показатели системы ГАП в РФ не более 30 %. Здесь же в [20] определяется, что автотранспортная система РФ состоит из трёх уровней: микроуровень или уровень транспортных предприятий (АТП), мезо уровень или уровень региональных автотранспортных систем и макроуровень – уровень автотранспортной отрасли РФ (рис. 4). Также в [20] со ссылками на в [21] обосновывается, что достижение результирующих показателей эффективности происходит в основном на микроуровне, то есть на уровне АТП и их структура имеет принципиальное значение.

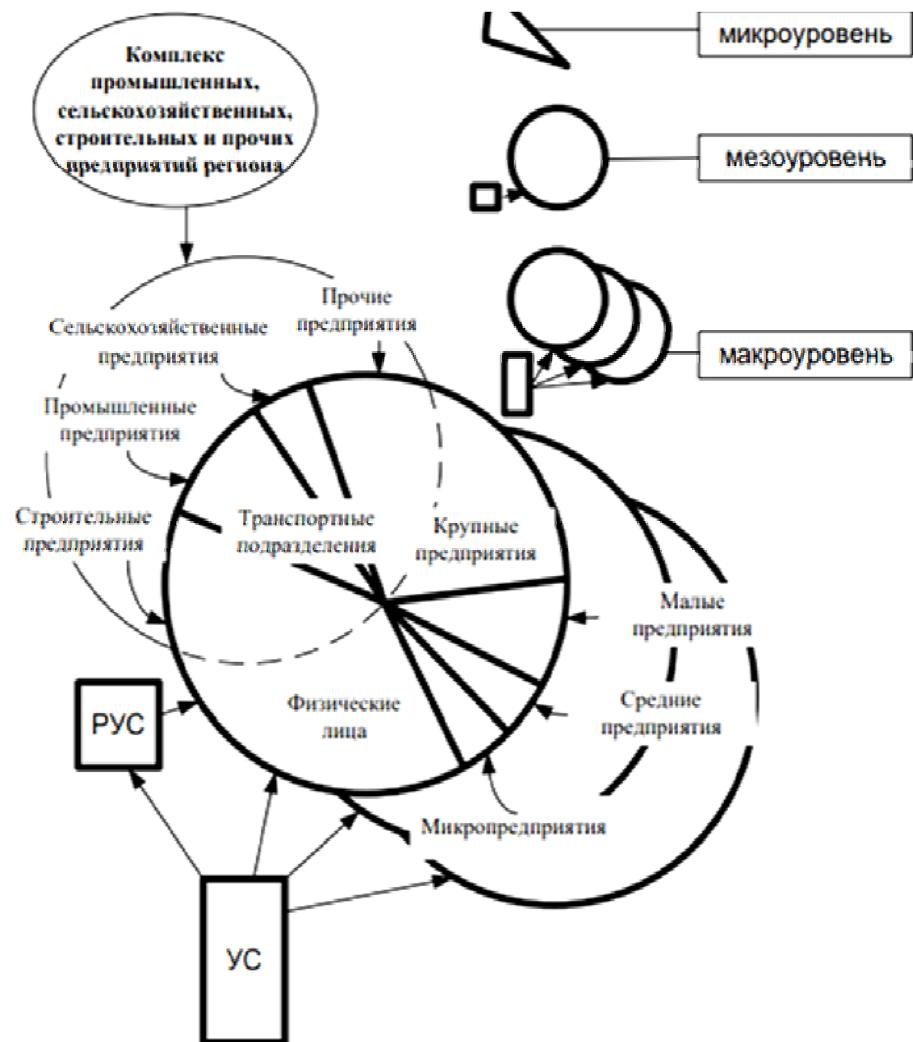


Рис. 4. Декомпозиция системы ГАП в РФ:
РУС – региональное управляемое воздействие, УС – управляющая система. Источник [20]

В [20] констатируется, что эффективное выполнение отраслевыми функциями ГАП, как системы управления в целях достижение ею качественных показателей, заложенных в Транспортной стратегией РФ до 2030 года

невозможно. Для проверки данного утверждения был произведен численный эксперимент на оригинальном ПО, моделирующем оценку функционала эффективности в сложных системах. В данном эксперименте ис-

следовались три уровня эффективности для оценки качества производства ГАП в текущем состоянии системы контейнерах автомобильных перевозок:

➤ 1 уровень — это уровень исследования эффективности отдельного АТП с присущим для отдельной организации целеполаганием,

➤ 2 уровень — это уровень автотранспортной отрасли РФ с характерным целеполаганием в отрасли, определяемым, в свою очередь, требованиями и интересами транспортной отрасли РФ в целом,

➤ 3 уровень — уровень эффективности в масштабах транспортной отрасли РФ с учетом целеполагания критериев, установленных в Транспортной стратегии РФ до 2035 год, то есть учитывающий интересы народно-хозяйственного комплекса РФ;

Оценка эффективности в системе производилась для

трёх основных структурных составляющих, дифференцируемых по количеству эксплуатируемого подвижного состава:

Вариант 1 - крупные АТП с количеством более 30 списочных единиц АТС в парке подвижного состава.

Вариант 2 - средние и малые АТП с количеством от 3 до 30-и списочных единиц АТС в парке подвижного состава.

Вариант 3 - микро АТП и физические лица – индивидуальные предприниматели (ИП) до 3 единиц подвижного состава.

Оценка эффективности производилась для всех возможных сочетаний приоритетов качества исследуемой системы (P1, P2, P3, P4). Отдельный приоритет качества соответствует установленному критерию целеполагания (рис. 5).

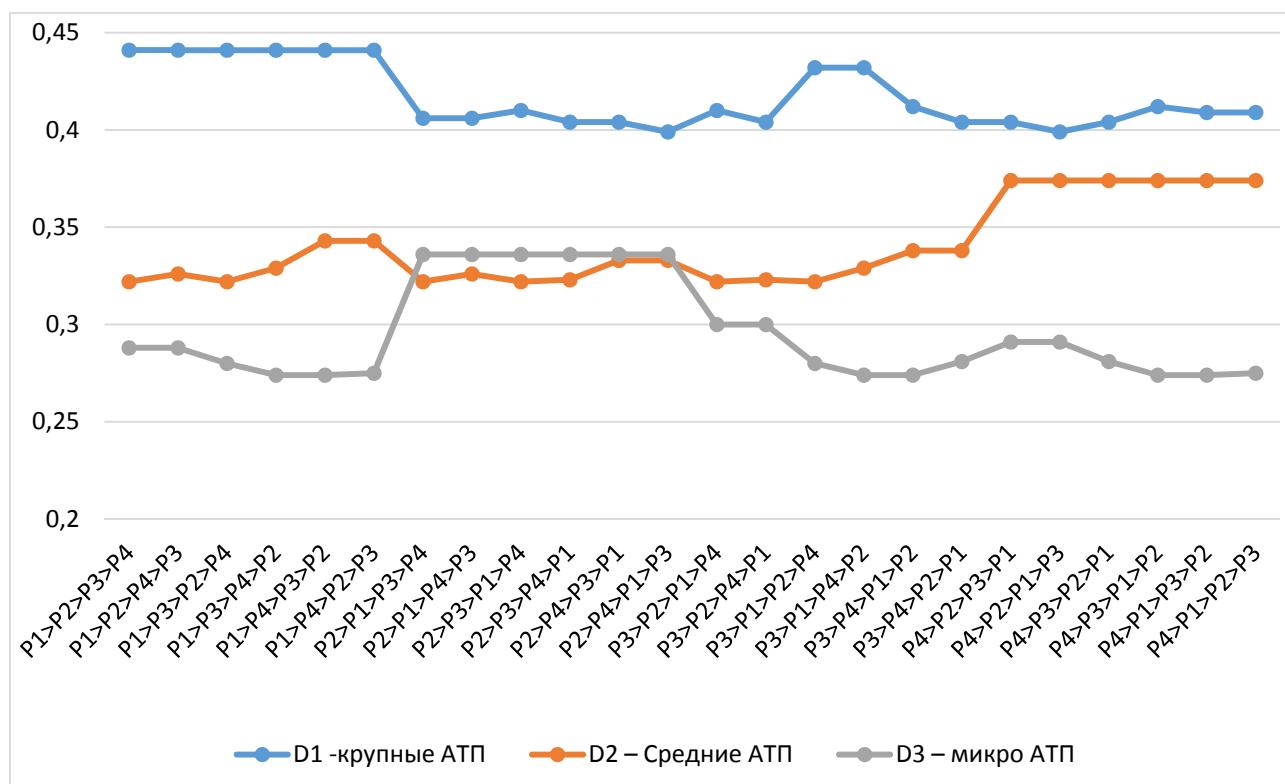


Рис. 5. Индексы эффективности отдельных видов АТП при различных приоритетах целеполагания развития отрасли АТ, при котором обеспечивается устойчивое состояние системы

Выводы

Результатом проведения численного эксперимента стала оценка вклада отрицательного типов АТП в общую эффективность системы контейнерных автомобильных. При этом оценка эффективности предполагала необходимость обеспечивать свойство исследуемой системы - её устойчивости под воздействием значительного количества факторов внутренней и внешней природы, то есть возможность сбалансированного развития в целях достижению оптимальных значений, определяемых критериями целеполагания. Различие в целеполагании и несопоставимость размерностей, исследуемых показателей выявили необходимость введения и аналитического определения специальной меры оценки эффективности в сложных многоуровневых системах ГАП. Поэтому был разработан и объективный показатель измерения эффективности сложных систем

в количественной оценке — индекс эффективности сложной системы. Полученные результаты численного моделирования исследуемой многоуровневой много-критериальной иерархической системы контейнерных автомобильных перевозок позволили сделать выводы о неэффективности микро АТП.

© Носков А. А., Терентьев А. В., Арифуллин И. В., 2024.

Список источников

- Стратегическое направление в области цифровой трансформации транспортной отрасли Российской Федерации до 2030 года. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 21 декабря 2021 г. № 3744-р.

2. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденная Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. №642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации»
3. Стратегия экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденная Указом Президента Российской Федерации от 13 мая 2017 года №208 «О Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года»
4. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 года г. №204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года».
5. Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденная президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам (протокол от 24 декабря 2018 г. №16)
6. Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 февраля 2019 г. № 207-р.
7. Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2023 года, утвержденная Указом Президента Российской Федерации от 10 октября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации».
8. Ведомственная целевая программа «Цифровая платформа транспортного комплекса Российской Федерации», утвержденная Министерством транспорта Российской Федерации 28 декабря 2020 г.
9. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. №3363-р.
10. РОССТАТ. Федеральная служба государственной статистики. Транспорта. Электронный ресурс/ Режим доступа. <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport>. Дата обращения 23.10.2022 г.
11. ГОСТ Р ИСО 14813-1 Интеллектуальные транспортные системы. Схема построения архитектуры интеллектуальных транспортных систем. Часть 1. Сервисные домены в области интеллектуальных транспортных систем, сервисные группы и сервисы.
12. ГОСТ Р 56294 - 2014 Интеллектуальные транспортные системы. Требования к функциональной и физической архитектуре интеллектуальных транспортных систем.
13. ОДМ 218.9.011-2016 Рекомендации по выполнению обоснования интеллектуальных транспортных систем.
14. Комаров В.В. Архитектура и стандартизация телематических и интеллектуальных транспортных систем. Зарубежный опыт и отечественная практика/ В.В. Комаров, С.А. Гараган // – М.: НТБ «Энергия», 2012. – 352 с. ISBN 978-5-903954-06-3
15. Комаров, В.В. Методические особенности разработки архитектуры интеллектуальных транспортных систем / В. В. Комаров // Известия Московского государстvennogo технического университета (МАМИ). - 2012. - №1. Том.1 – С. 130–138.
16. Концепции облачных технологий IaaS, PaaS, SaaS, MaaS, CaaS и XaaS/ZEL-Услуги/ Электронный ресурс/Режим доступа: <https://www.zeluslugi.ru/info-czentr/stati/iaas-paas-saas-caas-xaas>. Дата обращения 21.04.2022
17. Терентьев, А.В. Теоретические основы проектирования цифровой системы контейнерных грузовых автомобильных перевозок/Терентьев А.В., Евтиюков С.А., Носков А.А., Грушецкий
18. Носков, А.А. Генезис системы цифровой трансформации контейнерных грузовых автомобильных перевозок/Носков А.А., Терентьев А.В.///Вестник гражданских инженеров. 2023. № 2 (97). С. 116-120. С.М., Орлов Д.С./// Грузовик. 2023. № 8. С. 16-19.
19. Терентьев, А.В. Синтез оптимальной программы управления качеством принимаемых решений в интеллектуальных системах организации автомобильных перевозок/ Терентьев А.В., Арифуллин И.В., Носков А.А./Вестник //Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2023. № 4 (75). С. 107-216
20. Гавриленко, Н.Г. Состав и структура автотранспортной системы Российской Федерации/ Н.Г. Гавриленко, С.А. Бородулина// Наука о человеке. Гуманитарные исследования. Раздел 3. Экономические науки №1(39) 2020. С 217-225.
21. Гавриленко Н. Г. Инновационные изменения на автомобильном транспорте в контексте циклического развития экономической системы/Н.Г. Гавриленко // Вестник СибАДИ: Научный рецензируемый журнал. Омск: СибАДИ, 2014. № 1. С. 132–136.

Информация об авторах

Носков Александр Александрович - генеральный директор Группы компаний «Миларин» кандидат экономических наук.

198320, Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Свободы, д. 63.,
e-mail: noskovanton@milarin.ru.

Терентьев Алексей Вячеславович - Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, профессор кафедры «Транспортные системы», доктор технических наук.

Санкт-Петербург, 190005, Российская Федерация, 2-я Красноармейская ул., 4,

Арифуллин Илья Владимирович - Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), доцент кафедры «Транспортная телематика», кандидат технических наук.

125319, Российская Федерация, Москва, Ленинградский проспект, 64.

Information about the author

Anton A. Noskov - Head of Group companies «Milarin», Candidate of Economical Sciences.

63 Svoboda str., Saint Petersburg, 198320, Russian Federation

e-mail: noskovanton@milarin.ru.

Alexey V. Terentyev - St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering professor of the Department of Transport Systems, Doctor of Technical Sciences.

2-nd Krasnoarmeyskaya str., 4, St. Petersburg, 190005, Russian Federation

e-mail: aleksej.terentev.67@bk.ru

Ilya V. Arifullin - Moscow automobile and road construction state technical university (MADI), Assistant professor of the Department of transport telematics.

Leningradsky avenue, 64, Moscow, 125319, Russian Federation.

Статья поступила в редакцию 18.03.2024, одобрена после рецензирования 29.04.2024, принята к публикации 03.06.2024.

The article was submitted 18.03.2024, approved after reviewing 29.04.2024, accepted for publication 03.06.2024.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors' contribution: All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The authors declare that there is no conflict of interest.

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ
THE INFORMATION FOR AUTORS

ПРАВИЛА

**направления, опубликования и рецензирования научных статей
для публикации в Научном информационном сборнике
«ТРАНСПОРТ: наука, техника, управление»**

1. К рассмотрению принимаются рукописи, отражающие результаты оригинальных исследований. Содержание рукописи должно относиться к тематике журнала, соответствовать современному научному уровню, обладать определенной научной новизной и представлять интерес для широкого круга читателей научного сборника. В сборнике публикуются материалы по общим вопросам транспорта, логистике, информационным и цифровым технологиям, железнодорожному, автомобильному, водному, воздушному, промышленному, городскому, а также специальным видам транспорта. Подробная рубрикация тематики сборника представлена на сайте ВИНИТИ РАН. Сборник включен в Перечень рецензируемых журналов, в которых рекомендуется публикация результатов научных исследований в диссертациях на соискание ученой степени доктора и кандидата наук (Перечень ВАК). Названия научных специальностей, по которым в сборнике могут представляться результаты научных исследований, перечислены в указанном Перечне ВАК.

2. Опубликованные материалы, а также рукописи, находящиеся на рассмотрении в других изданиях, к публикации не принимаются.

3. Редакционная коллегия и рецензенты принимают на себя обязательство ограничить круг лиц, имеющих доступ к присланной в редакцию рукописи.

4. Рукопись должна содержать постановку задачи, исследование, перечень источников и выводы (или заключение).

5. К рассмотрению принимаются рукописи объемом не более одного авторского листа (авторский лист содержит 40 тыс. знаков, включая пробелы). Статьи принимаются для рассмотрения по электронной почте.

6. Рукопись статьи должна быть представлена в следующем составе и последовательности:

- название раздела на русском и английском языках;
- данные о типе статьи на русском и английском языке (научные, обзорные, редакционные, о персоналиях);
- индекс Универсальной десятичной классификации (УДК);
- цифровой идентификатор объекта — Digital Object Identifier, сокр. DOI (устанавливается редакцией);
- название (заглавие) статьи;
- подзаголовочные данные статьи;
- сведения об авторе (авторах) на русском и английском языке (ФИО полностью, наименование организации (подразделения), электронный адрес автора, ORCID ученого, если имеется; в названии организации опускается указание на организационную структуру. Сведения об авторе на английском языке также приводятся полностью, отчество сокращают до одной буквы (в некоторых случаях до двух букв). Если автор работает (учится) в нескольких организациях, приводятся сведения о каждом месте работы (учебы) после фамилии автора. Если авторов более четырех, на первой полосе статьи разрешается приводить сведения об одном авторе, ответственном за переписку. Данные об остальных авторах приводятся в конце статьи после списка источников);
- аннотация (резюме) не более 250 слов на русском и английском языке;
- ключевые слова (словосочетания) на русском и английском языке (от 3 до 15 слов);
- благодарности на русском и английском языке (если требуются);
- знак охраны авторского права;
- текст статьи;
- список источников — не менее 10 источников, но не более 20 источников, рекомендовано использование зарубежных источников. Список источников приводится на русском, затем на английском языке, как это предусмотрено ГОСТ Р 7.0.7-2021. Решением редакции из-за определенных трудностей временно допускается не приводить список на английском языке. При использовании источников на английском языке, в списке источников они дублируются в русском и английском вариантах списка;
- сведения о продолжении или окончании статьи (при публикации статьи частями в нескольких выпусках издания части должны быть пронумерованы, и у всех частей следует указывать общее заглавие статьи. Если части имеют, помимо общего, частное заглавие, то его приводят после обозначения и номера части);
- приложение (приложения), если необходимо;
- примечания;
- подписи авторов, с указанием даты отправления рукописи.

Дополнительно могут быть приведены на русском и английском языке:

- сведения о вкладе каждого автора, если статья имеет несколько авторов;
- указание об отсутствии или наличии конфликта интересов с детализацией).

7. Рукопись должна быть представлена на электронном носителе, в программе Microsoft Word, шрифт Times New Roman, кегль 14, междустрочный интервал 1,5, расположение в одну колонку).

Текст и каждый рисунок должны быть представлены отдельными файлами:

- текст статьи — в формате DOCX, имя файла статьи должно состоять из фамилии первого автора в латинской транслитерации (Smirnov.docx);
- рисунки — черно-белые, в одном из форматов: TIF, JPG. Имя файла каждого рисунка должно состоять из фамилии первого автора в латинской транслитерации, дополненного знаком «подчеркивание» и номером рисунка в статье (Smirnov_1.tif и т.д.)

8. При написании математических формул, подготовке графиков, диаграмм, блок-схем не допускается применение размеров шрифтов менее № 8 (за исключение индексов). Таблицы, рисунки и формулы являются частью текста и должны допускать электронное редактирование. Сложные математические формулы должны быть представлены как встроенные в Word объекты Microsoft Equation (MathType).

9. К рукописи статьи прилагается экспертное заключение о возможности публикации статьи в открытой печати, заверенное подписью и печатью, и личное заявление авторов о присоединении к Публичным правилам передачи исключительных прав на статьи для опубликования в научных изданиях ВИНИТИ РАН.

10. Издание осуществляет рецензирование и проверку оригинальности по программе Антиплагиат всех поступающих в редакцию материалов с целью их экспертной оценки. Оригинальность представленных статей должна быть не менее 75%. К рецензированию могут привлекаться члены Редакционной коллегии.

11. Редакция издания направляет авторам предоставленных материалов копии рецензий или мотивированный отказ в публикации, а также обязуется направлять копии рецензий в Министерство образования и науки Российской Федерации при поступлении в редакцию сборника соответствующего запроса. Рукописи, не соответствующие указанным требованиям, редакцией не рассматриваются.

12. Все публикации в сборнике бесплатные. Авторские и дополнительные экземпляры научных сборников заказываются за плату.

13. Полные тексты статей сборника публикуются с отставанием на 12 мес. с момента выхода из печати и находятся в свободном доступе на сайте ВИНИТИ РАН (Раздел «Издания ВИНИТИ РАН»).

14. Полное содержание журнала и метаданные статей (по мере выхода) находятся в доступе на сайте Научной электронной библиотеки (НЭБ) — URL: <https://www.elibrary.ru/contents.asp?titleid=9167>.

15. Пример оформления статьи приведен в приложении к настоящим Правилам.

**Приложение к Правилам
(пример оформления)**

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ
Научная статья

УДК 629.4

DOI: 11.22203/1998-033X.0.2022.3.15-28

**ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ**

Николаева Ольга Владимировна

Nikolaeva@miit.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1537-2318>,

Локтин Алексей Андреевич

Loktin@miit.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0544-9577>

(Российский университет транспорта. Москва, Россия)

Аннотация. На примере данных по оценке состояния железнодорожного пути участков Московской железной дороги проанализированы зависимости интенсивности накопления остаточных деформаций верхнего строения железнодорожного пути от пропущенного тоннажа. Зависимости построены на основе изучения математической модели прогнозирования с использованием местного и среднесетевого трендов. Проведены расчеты по прогнозированию изменения технического состояния пути для участков.

Ключевые слова: математическая модель, прогнозирование, интенсивность накопления остаточных деформаций, железнодорожный путь, дефект, верификация модели

Для цитирования: Николаева О.В., Локтин А.А. Исследование математической модели прогнозирования технического состояния железнодорожного пути // Научный информационный сборник. Транспорт: наука, техника, управление. 2022. № 3. С. 15-28. DOI: 11.22203/1998-033X.0.2022.3.15-28.

RAILWAY TRANSPORT

Scientific article

RESEARCH OF MATHEMATICAL MODEL FOR FORECASTING RAILWAY TRACK TECHNICAL STATE

Olga V. Nikolaeva,

Nikolaeva@miit.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1537-2318>

Aleksey A. Loktin, Loktin@miit.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0544-9573>

(Russian University of Transport. Moscow, Russia)

Abstract. Using the example of data on assessing the state of the railway track of sections of the Moscow Railway, the dependences of the intensity of accumulation of residual deformations of the upper structure of the railway track on the missed tonnage are analyzed. Dependencies are obtained on the basis of studying a mathematical forecasting model using local and average network trends. Taking into account the history of the change in the condition of the track by the deviations of the rail in the profile and in the level, calculations were carried out to

Keywords: Mathematical model, forecasting, the intensity of the accumulation of residual deformations, railway track, defect, model verification

For citation: Nikolaeva O.V., Loktin A.A. Research of mathematical model for forecasting railway track technical state // Scientific Information Collection. Transport: science, equipment, management. 2022. № 3. P. 15-28. DOI: 10.22203/1998-033X.0.2022.3.15-28.

ТЕКСТ СТАТЬИ

.....

© Николаева О.В., Локтин А.А., 2022

Список источников

1. Попов Н.П. Верификация математических моделей и проведение расчетов предельного состояния эксплуатационного ресурса по комплексному показателю долговечности рельсов // Железнодорожный транспорт. 2021. № 5. С. 24-28. DOI:

References

1. Popov N.P. Verification of mathematical models and calculations of the limiting state of the operational resource according to the complex indicator of rail durability // The railway transport. 2021. No 5. P. 24-28. DOI:

Информация об авторах

Николаева О.В.; доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой; Путь и путевое хозяйство;

Локтин А.А.; кандидат техн. наук, доцент кафедры; Путь и путевое хозяйство.;

Information about the author

O. V. Nikolaeva; Doctor of Science (Tech.), Professor, Head of the department "Path and track management".

A.A. Loktin; Ph. D. (Tech.), Associate Professor of the department "Path and track management".

Статья поступила в редакцию, одобрена после рецензирования, принята к публикации

The article was submitted, approved after reviewing, accepted for publication

Вклад авторов (если более одного): все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors' contribution: All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The authors declare that there is no conflict of interest.