

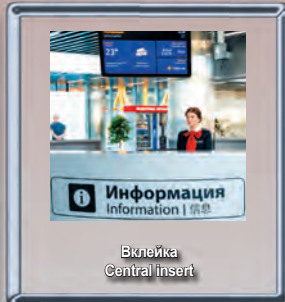
# Т

ISSN 1992-3252

# РАНСПОРТА

WORLD OF TRANSPORT  
AND TRANSPORTATION

4 2022  
Том / Vol. 20



# ГОСУДАРСТВЕННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОННЫХ ПЕРЕВОЗОЧНЫХ ДОКУМЕНТОВ

**Г**осударственная информационная система электронных перевозочных документов (ГИС ЭПД) позволит транспортным и логистическим компаниям существенно снизить свои затраты и ускорить бизнес-процессы. На первом этапе услуги системы на добровольной основе будут доступны более 7 млн активных участников перевозочного процесса, работающим на автотранспорте – самом массовом по числу участников.

В рамках опытной эксплуатации системы были протестированы базовые подходы, логика работы системы и процессы взаимодействия с операторами ЭДО, отработаны основные сценарии бизнес-процессов оформления электронных перевозочных документов. Для этого на площадке Ассоциации «Цифровой транспорт и логистика» была создана и работает на постоянной основе рабочая группа.

С 1 сентября 2022 года в ГИС ЭПД можно оформить электронную транспортную накладную, электронную сопроводительную ведомость и электронный заказ-наряд. С 1 марта 2023 года перечень документов расширится и будет также включать электронный путевой лист, электронный договор фрахтования и электронный заказ (заявки). Участники рынка могут работать с ГИС ЭПД через операторов электронных перевозочных документов, требования к которым утверждены Правительством РФ. Оператором системы определён Минтранс России. Разработчиком ГИС ЭПД выступило подведомственное Минтрансу ФГУП «ЗащитаИнфоТранс».

«Переход компаний на электронный документооборот – это важный этап, который позволит ускорить процесс взаиморасчётов и переведёт взаимодействие бизнеса и государства в «цифру», делая рынок более прозрачным. Для того, чтобы система работала, мы сделали уникальный межведомственный проект по цифровизации, в котором участвовали Минтранс, Минцифры, ФНС и МВД России», – отметил заместитель министра транспорта РФ Дмитрий Баканов.

Для формирования единых правил работы с электронными перевозочными документами Минтранс России совместно с ФНС России и бизнесом разработал соответствующую нормативно-право-

вую базу, включая технические требования к информационным системам электронных перевозочных документов, порядок ведения реестра операторов информационных систем электронных перевозочных документов, а также порядок обмена электронными перевозочными документами между участниками информационного взаимодействия.

На сегодняшний день внедрение ГИС ЭПД не отменяет использование бумажных документов. Проверки документов на дорогах теперь будут осуществляться в электронном виде для тех, кто работает с ГИС ЭПД.

«ГИС ЭПД – «ядро» создаваемого усилиями Минцифры и Минтранса суперсервиса «Безбумажные перевозки пассажиров и грузов». Суперсервис направлен на оптимизацию деятельности бизнеса в сфере транспорта и их клиентов. Перевод в электронный вид транспортной накладной позволит коммерческим структурам сэкономить время, сократить издержки, повысить конкурентоспособность. Сегодня помимо реализации сервисов перевозчиков по формированию накладной в электронном виде реализованы также два важных процесса. Первый – это возможность проверки инспекторами ГИБДД и Ространснадзора накладной в виде QR-кода. Второй – это упрощение проверок для налоговой службы. Теперь ФНС сможет в любой момент получить доступ к накладным, а перевозчикам не потребуется по запросам предоставлять их на бумаге.

В дальнейшем использование ГИС ЭПД позволит обеспечить создание единой информационной среды для обмена документами между участниками перевозочного процесса на всех видах транспорта – автомобильном, железнодорожном, воздушном и морском.

Перевод перевозочных документов в электронный вид – одна из ключевых задач Транспортной стратегии до 2030 года, принятой Правительством в конце прошлого года.

**По материалам пресс-центра  
Министерства транспорта  
Российской Федерации: [https://mintrans.gov.ru/  
press-center/news/10347](https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10347) ●**

# ТРАНСПОРТ МИР

• ТЕОРИЯ • ИСТОРИЯ  
• КОНСТРУИРОВАНИЕ БУДУЩЕГО

4<sup>2022</sup>  
(101)

## СОДЕРЖАНИЕ

Издаётся  
Российским университетом  
транспорта.  
Учреждён МИИТ  
в 2003 году

Редакционный совет:

**Б. А. Лёвин** – доктор технических наук, профессор РУТ – председатель совета

**А. К. Головнич** – доктор технических наук, доцент Белорусского государственного университета транспорта

**А. А. Горбунов** – доктор политических наук, профессор РУТ

**Б. В. Гусев** – член-корреспондент Российской академии наук

**Н. А. Духно** – доктор юридических наук, профессор РУТ

**Д. Г. Евсеев** – доктор технических наук, профессор РУТ

**В. И. Колесников** – академик РАН, профессор Ростовского государственного университета путей сообщения

**К. Л. Комаров** – доктор технических наук, профессор Сибирского государственного университета путей сообщения

**Б. М. Куанышев** – доктор технических наук, профессор, заместитель председателя КАЗПРОФТРАНС (Республика Казахстан)

**Б. М. Липидус** – доктор экономических наук, профессор

**Д. А. Мачерет** – доктор экономических наук, профессор РУТ, первый заместитель председателя Объединённого учёного совета ОАО «РЖД»

**Л. Б. Миротин** – доктор технических наук, профессор Московского автомобильного государственного технического университета (МАДИ)

**А. В. Сладковски** – доктор технических наук, профессор Силезского технологического университета (Республика Польша)

**Ю. И. Соколов** – доктор экономических наук, профессор РУТ

**Тран Дак Су** – доктор технических наук, профессор Университета транспорта и коммуникаций (Ханой, Вьетнам)

**Т. В. Шепитько** – доктор технических наук, профессор РУТ

## НАУКА И ТЕХНИКА

*Никита ЛАБУТИН*

Разработка численной модели аэродинамического взаимодействия высокоскоростного поезда, воздушной среды и объектов инфраструктуры ..... 6

*Анатолий ЮНИЦКИЙ, Сергей АРТЮШЕВСКИЙ, Михаил ЦЫРЛИН*

Оптимизация аэродинамической формы монорельсового подвешного юнибуса ..... 17

## УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА

*Илья СОЛНЦЕВ*

Оценка социальных эффектов, формируемых железнодорожным транспортом ..... 28

*Николай АЛЕКСЕЕВ*

Выборочное обследование пассажиропотока методом анализа Wi-Fi данных в московском транспортном узле. Часть 2 ..... 39

*Максим МАЛЫШЕВ*

Использование возможностей искусственного интеллекта для выявления повреждённых грузов по внешнему виду упаковки при выполнении логистических операций ..... 61

*ЛИ БИНЧЖАН*

Технология блокчейн в цепочках поставок транспортных узлов в Китайской Народной Республике ..... 73

*Галина БУБНОВА, Александр БОРЕЙКО*

Концептуальные и организационно-технологические решения по формированию цифровых платформ управления перевозками по международным транспортным коридорам ..... 86

*Ольга МАТАНЦЕВА, Анна АРЕДОВА, Ирина ЩЕГОЛЕВА*

Исследование влияния факторов на качество обслуживания пассажиров и эффективность использования подвижного состава . . . 98

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Б. А. ЛЁВИН** –

главный редактор

**Е. Ю. ЗАРЕЧКИН** –

первый заместитель главного

редактора

**ЧЛЕНЫ**

**РЕДКОЛЛЕГИИ**

**Е. С. АШПИЗ** –

д.т.н., доцент РУТ

**Л. А. БАРАНОВ** –

д.т.н., профессор РУТ

**А. М. БЕЛОСТОЦКИЙ** –

д.т.н., профессор РУТ

**Г. В. БУБНОВА** –

д.э.н., профессор РУТ

**Ю. А. БЫКОВ** –

д.т.н., профессор РУТ

**В. А. ГРЕЧИШНИКОВ** –

д.т.н., доцент РУТ

**В. Б. ЗЫЛЁВ** –

д.т.н., профессор РУТ

**В. И. КОНДРАЩЕНКО** –

д.т.н., старший научный

сотрудник РУТ

**А. А. ЛОКТЕВ** –

д.ф.м.н., профессор РУТ

**С. Я. ЛУЦКИЙ** –

д.т.н., профессор РУТ

**О. Е. ПУДОВИКОВ** –

д.т.н., доцент РУТ

**В. Н. СИДОРОВ** –

д.т.н., профессор РУТ

**Н. П. ТЕРЁШИНА** –

д.э.н., профессор РУТ

**В. С. ФЁДОРОВ** –

д.т.н., профессор РУТ

**В. М. ФРИДКИН** –

д.т.н., старший научный

сотрудник РУТ

**В. А. ШАРОВ** –

д.т.н., профессор РУТ

**А. К. ШЕЛИХОВА** –

руководитель редакции

## РЕДАКЦИЯ

**И. А. ГЛАЗОВ** –

редактор

**Н. К. ОЛЕЙНИК** –

технический редактор

**М. В. МАСЛОВА** –

английский перевод

При перепечатке ссылка

на журнал «Мир транспорта»

обязательна.

© «Мир транспорта», 2022

*Владимир СИВАКОВ, Виктор КАМЫНИН,  
Петр ТИХОМИРОВ*

Совершенствование транспортного обслуживания в г. Брянске . . . . .105

## БЕЗОПАСНОСТЬ, УСТОЙЧИВОСТЬ, ЭКОЛОГИЯ

*Яриан РЕЙЕС СУАРЕС,  
Валентин БАЛАБИН*

Энергетическое влияние степени гидратации этанола и коэффициента избыточного воздуха ( $\alpha$ ) на использование смесей этанол-бензина в двигателях с искровым зажиганием. . . . .112

*Александр ЗЕМЛИН, Мария МАТВЕЕВА,  
Евгения ГОЦ, Антон ТОРШИН*

Проблемные вопросы правового регулирования использования автомобилей с автоматизированной системой вождения . . . . .117

## КОЛЕСО ИСТОРИИ

*Пресс-архив  
Александр КРИЦКИЙ*

К вопросу об оздоровлении воздуха в пассажирских вагонах (1891–1892 годы) . . . . .124

## КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

*Елена БАГРЕЕВА*

Правовое регулирование рыночной экономики на транспорте как юридическая дисциплина . . . . .134  
Материалы «Бюллетеня ОСЖД» в первом полугодии 2022 года. . . .138  
Авторефераты диссертаций . . . . .142  
Новые книги о транспорте . . . . .150

## ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ

«Нужна надёжность каждого локомотива» . . . . .264

Журнал зарегистрирован в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций 20 декабря 2002 г. Регистрационный номер ПИ № 77-14165.

Журнал выходит 6 раз в год. Номер подписан в печать 22.09.2022. Тираж 200 экз. Цена свободная.

Отпечатано с оригинал-макета в типографии ООО «Амирит», 410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, д. 88, литер У.

Ознакомиться с содержанием вышедших номеров можно на сайте научной электронной библиотеки eLibrary.ru или на сайте <https://mirtr.elpub.ru>, с условиями публикации – на сайте <https://mirtr.elpub.ru>.

**Журнал включён в Российский индекс научного цитирования, информация размещается в базах данных РГБ, Соционет, Ulrich's Periodicals Directory, WorldCat.org, EBSCO CEEAS.**

# T World of Transport and Transportation

•THEORY  
•HISTORY  
•ENGINEERING  
OF THE FUTURE

Vol. 20<sup>2022</sup>  
Iss. 4

The journal is published  
by Russian University  
of Transport.

Founded in 2003 by MIIT.

#### Editorial council:

**Boris A. Lyovin**, D.Sc. (Eng),  
professor of Russian University  
of Transport, chairman

**Alexander C. Golovnich**, D.Sc.  
(Eng), associate professor of  
Belarusian State Transport  
University

**Alexander A. Gorbunov**, D.Sc.  
(Pol), professor of Russian  
University of Transport

**Boris V. Gusev**, corresponding  
member of the Russian Academy  
of Sciences

**Nickolay A. Duhno**, LL.D.,  
professor of Russian University of  
Transport

**Dmitry G. Evseev**, D.Sc. (Eng),  
professor of Russian University of  
Transport

**Vladimir I. Kolesnikov**, member of  
the Russian Academy of Sciences,  
professor of Rostov State University  
of Railway Engineering

**Constantine L. Komarov**, D.Sc.  
(Eng), professor of Siberian State  
University of Railway Engineering

**Bakytzhan M. Kuanyshev**, D.Sc.  
(Eng), professor, deputy chairman  
of KAZPROFTRANS (Republic of  
Kazakhstan)

**Boris M. Lapidus**, D.Sc. (Econ),  
professor

**Dmitry A. Macheret**, D.Sc. (Econ),  
professor of Russian University of  
Transport, first deputy chairman of  
the United scientific council of JSC  
Russian Railways

**Leonid B. Mirotn**, D.Sc. (Eng),  
professor of Moscow State  
Automobile and Road Technical  
University

**Taisiya V. Shepitko**, D.Sc. (Eng),  
professor of Russian University of  
Transport

**Aleksander V. Sladkowski**,  
D.Sc. (Eng), professor of Silesian  
University of Technology (Republic  
of Poland)

**Yuriy I. Sokolov**, D.Sc. (Econ),  
professor of Russian University of  
Transport

**Tran Dac Su**, D.Sc. (Eng),  
professor of the University of  
Transport and Communications  
(Hanoi, Vietnam)

## CONTENTS

Page numbering below refers to the texts in English

### SCIENCE AND ENGINEERING

*Nikita A. LABUTIN*

Development of a Numerical Model of the Aerodynamic  
Interaction of a High-Speed Train, Air Environment  
and Infrastructure Facilities .....152

*Anatoli E. UNITSKY,  
Sergey V. ARTYUSHEVSKY,  
Mikhail I. TSYRLIN*

Optimisation of the Aerodynamic Shape  
of a Monorail Suspended Unibus .....163

### ADMINISTRATION, MANAGEMENT AND ECONOMICS

*Ilya V. SOLNTSEV*

Assessment of Social Effects Generated by Railways .....174

*Nikolai Yu. ALEKSEEV*

Sample Survey of Passenger Traffic by Analysing Wi-Fi Data  
in Moscow Transport Hub. Part 2 .....184

*Maxim I. MALYSHEV*

Using Artificial Intelligence to Identify Damaged  
Goods by the External Appearance of the Package  
when Performing Logistics Operations .....205

*LI Bingzhang*

Blockchain Technology in Supply Chains of Transport Hubs  
in the People's Republic of China. ....217

*Galina V. BUBNOVA,  
Alexander E. BOREYKO*

Conceptual, Organisational and Technological Solutions  
for Development of Digital Platforms for Managing  
Transportation along International Transport Corridors .....229

*Olga Yu. MATANTSEVA,  
Anna K. AREDOVA,  
Irina V. SHCHEGOLEVA*

Study of the Influence of Factors on Passenger Service Quality  
and Efficiency of Rolling Stock Use. ....240

## EDITORIAL BOARD

**Boris A. LYOVIN,**  
editor-in-chief

**Evgeny Yu. ZARECHKIN,**  
first deputy editor-in-chief

## BOARD MEMBERS

**Evgeny S. ASHPIZ,**  
D.Sc. (Eng), associate professor  
of Russian University of Transport

**Leonid A. BARANOV,**  
D.Sc. (Eng), professor of Russian  
University of Transport

**Alexander M. BELOSTOTSKIY,**  
D.Sc. (Eng), professor of Russian  
University of Transport

**Galina V. BUBNOVA,**  
D.Sc. (Econ), professor of Russian  
University of Transport

**Yuriy A. BYKOV,**  
D.Sc. (Eng), professor of Russian  
University of Transport

**Victor S. FEDOROV,**  
D.Sc. (Eng), professor of Russian  
University of Transport

**Vladimir M. FRIDKIN,**  
D.Sc. (Eng), senior researcher  
of Russian University of Transport

**Victor A. GRECHISHNIKOV,**  
D.Sc. (Eng), associate professor  
of Russian University of Transport

**Valeriy I. KONDRASHENKO,**  
D.Sc. (Eng), senior researcher  
of Russian University of Transport

**Alexey A. LOKTEV,**  
D.Sc. (Phys.-Math.),  
professor of Russian University  
of Transport

**Svyatoslav Y. LUTSKIY,**  
D.Sc. (Eng), professor of Russian  
University of Transport

**Oleg E. PUDOVNIKOV,**  
D.Sc. (Eng), associate professor  
of Russian University of Transport

**Victor A. SHAROV,**  
D.Sc. (Eng), professor of Russian  
University of Transport

**Alla K. SHELIKHOVA,**  
head of editorial office

**Vladimir N. SIDOROV,**  
D.Sc. (Eng), professor of Russian  
University of Transport

**Natalia P. TERYOSHINA,**  
D.Sc. (Econ), professor of Russian  
University of Transport

**Vladimir B. ZYLYOV,**  
D.Sc. (Eng), professor of Russian  
University of Transport

## EDITORIAL STAFF

**Ivan A. GLAZOV,**  
editor

**Natalia C. OLEYNIK,**  
editorial secretary

**Maria V. MASLOVA,**  
translator

© Mir Transporta

© World of Transport  
and Transportation

© English translation

© 2022. All rights reserved

*Vladimir V. SIVAKOV,*

*Viktor V. KAMYNNIN,*

*Petr V. TIKHOMIROV*

Improving Transport Services in Bryansk .....247

## SAFETY, SUSTAINABILITY, ECOLOGY

*Yarian REYES SUAREZ,*

*Valentin N. BALABIN*

Energy Effect of the Degree of Hydration of Ethanol  
and the Air Excess Coefficient (a) on the Use of Ethanol-Gasoline  
Mixtures in Spark Ignition Engines .....254

*Alexander I. ZEMLIN,*

*Maria A. MATVEEVA,*

*Eugenia V. GOTS,*

*Anton A. TORSHIN*

Problem Issues of Legal Regulation of the Operation  
of Cars with an Automated Driving System .....259

## EXPRESS INFORMATION

«We need reliability in every single locomotive».....264

## HISTORY WHEEL

*News from the Archives*

*Alexander M. KRITSKY*

On the Issue of Cleaning Up the Air in Passenger Coaches (1891–1892).266

## BIBLIO-DIRECTIONS

*Elena G. BAGREEVA*

Legal Regulation of a Market Transport Economics  
as a Legal Discipline.....276

Materials of OSJD Bulletin Published  
in the First Half of 2022 .....280

Selected Abstracts of D.Sc. and Ph.D. Theses Submitted  
at Russian Universities .....284

New Books on Transport and Transportation .....292

Published quarterly since 2003. Bimonthly since 2013.

100 issues have been published since 2003.

Current issues are circulated in 200 hard copies available on subscription.

All articles in the journal are published in Russian and English, both versions being entirely identical. The emails of corresponding authors are marked with ✉.

The open accessed full texts of the articles, editorial politics and guidelines for the authors are available at the Website of the journal at <https://mir.elpub.ru/jour> (both in Russian and English). The authors can submit their articles either in Russian or in English. The journal uses double-blind peer reviewing.

The full texts in Russian and key information in English are also available at the Website of the Russian scientific electronic library at <https://www.elibrary.ru> (upon free registration).

The journal is indexed in Russian scientific citation index system, Russian state library, Socionet, Ulrichsweb, WorldCat.org, EBSCO CEEAS.

Any reproduction in whole or in part on any medium or use of English translation of the articles contained herein is prohibited for commercial use without the prior written consent of World of Transport and Transportation.



## АЭРОДИНАМИКА

Вопросы аэродинамики касаются не только гражданской авиации, но и других видов транспорта – железнодорожного, автомобильного, морского и речного, а также разработки новых транспортных средств и транспортных систем.

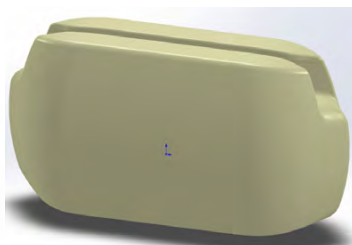
## ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ

6

Взаимодействие высокоскоростного поезда с воздушной средой и инфраструктурой. Численные методы, моделирование и эксперименты. Выбор оптимальных методов.



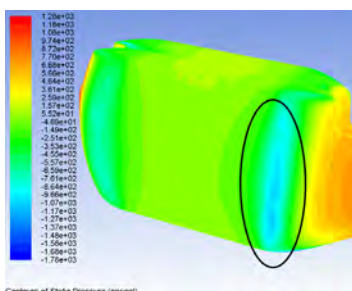
## НАУКА И ТЕХНИКА



## НОВЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА

17

Разработка проектов струнного транспорта и предлагаемых транспортных средств – юнибусов – включает анализ их аэродинамических характеристик. Представлен процесс диктуемой ими оптимизации дизайна в целях снижения воздействия на окружающую среду и повышения потенциальной экономической эффективности эксплуатации.





# Разработка численной модели аэродинамического взаимодействия высокоскоростного поезда, воздушной среды и объектов инфраструктуры



*Никита Андреевич Лабутин*

*Петербургский государственный университет путей сообщения  
Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия.  
✉ [n\\_labutin@outlook.com](mailto:n_labutin@outlook.com).*

Никита ЛАБУТИН

## АННОТАЦИЯ

Проектирование высокоскоростных железнодорожных магистралей (ВСМ) требует обязательного учёта нагрузок от аэродинамического взаимодействия движущегося поезда, воздушной среды и объектов инфраструктуры, действующих как на конструкции и сооружения, так и на сам поезд. Определение характера и интенсивности нагрузки наиболее целесообразно осуществлять в программных комплексах вычислительной гидрогазодинамики.

В целях определения оптимального подхода к моделированию процессов аэродинамического взаимодействия движущегося высокоскоростного поезда и воздушной среды, а также оценки степени его достоверности, в программном комплексе ANSYS CFX была выполнена серия расчётов с применением различных подходов к построению расчётных моделей (метод

скользящих сеток и метод погруженного тела). Анализ их результатов позволяет определить область рационального применения рассмотренных подходов при разработке расчётных моделей аэродинамического взаимодействия.

Для верификации разработанных расчётных моделей были выполнены экспериментальные измерения аэродинамического воздействия высокоскоростного электропоезда «Сапсан» на воздушную среду. Также разработанные модели были верифицированы по результатам аналогичных зарубежных экспериментальных исследований. Сопоставление результатов численного моделирования и экспериментальных измерений позволяет сделать вывод о достаточной степени достоверности разработанных расчётных моделей и возможности их дальнейшего использования.

**Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, высокоскоростные магистрали, высокоскоростной поезд, аэродинамика, аэродинамическое взаимодействие, численное моделирование, моделирование.

*Для цитирования:* Лабутин Н. А. Разработка численной модели аэродинамического взаимодействия высокоскоростного поезда, воздушной среды и объектов инфраструктуры // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 4 (101). С. 6–16. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-1>.

*Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.  
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.*

## ВВЕДЕНИЕ

Высокоскоростные железнодорожные магистрали (ВСМ) предъявляют крайне высокие требования к надёжности, долговечности и безопасности всех составляющих элементов инфраструктуры. Часть этих требований обуславливается необходимостью учёта при проектировании ряда специальных нагрузок и воздействий, что не является обязательным при проектировании обычных (нескоростных) железнодорожных линий. Одной из таких нагрузок является нагрузка от аэродинамического взаимодействия движущегося высокоскоростного поезда, воздушной среды и объектов инфраструктуры [1; 2]. Особую важность изучение аэродинамического воздействия, оказываемого высокоскоростным подвижным составом на объекты инфраструктуры, людей, другой подвижной состав и т.д., обретает в связи с проектированием высокоскоростной железнодорожной магистрали Санкт-Петербург–Москва (ВСЖМ-1) с эксплуатационной скоростью до 360 км/ч.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Аэродинамическое взаимодействие движущегося высокоскоростного поезда, воздушной среды и объектов инфраструктуры

Движение высокоскоростного поезда сопровождается локальными возмущениями воздушной среды, выраженными образованием вдоль поезда зон повышенного (избыточного) и пониженного (разреженного) давлений. Образование этих областей обуславливается уплотнением и разуплотнением воздушных масс в непосредственной близости от движущегося поезда. Резкая смена областей повышенного и пониженного давлений образуют знакопеременную бегущую воздуш-

ную волну, движущуюся со скоростью, равной скорости поезда. Наиболее ярко выраженные воздушные волны расположены в голове и конце поездов. Также, аналогичные волны, но с меньшими амплитудами величин давлений располагаются у междвагонных промежутков и в местах соединения сочленённых поездов [3–5]. Принципиальный график изменения величины давления вдоль одиночного высокоскоростного электропоезда приведён на рис. 1.

Движущиеся воздушные волны обтекают расположенные в близости от оси пути конструкции и сооружения, что приводит к различным величинам давлений по их контуру в момент времени. Возникшая разность давлений образует полную аэродинамическую силу и полный аэродинамический момент, действующие на рассматриваемое тело [6]. В то же время при обтекании различного рода конструкций есть вероятность возникновения локальных завихрений, способных оказать влияние на динамическую работу рассматриваемой конструкции и на ветровую устойчивость движущегося поезда.

Как правило, наиболее достоверным способом изучения различных аэродинамических явлений является физическое моделирование в аэродинамических трубах и установках (рис. 2).

Однако, так как физическое моделирование является крайне трудозатратным, а часть исследуемых задач (например, моделирование течений вокруг статических тел, вызванных движущимся телом) нереализуемо в аэродинамических трубах [7], а их моделирование на специализированных установках достаточно трудоёмко, необходимо прибегать к методам численного моделирования в специализированных программных комплексах



Рис. 1. Принципиальный график изменения величины воздушного давления вдоль высокоскоростного поезда [разработано автором].



Рис. 2. Испытания моделей поездов в аэродинамических трубах: а – электропоезд на платформе Siemens Velaro, б – электропоезд на платформе Alstom AGV [[https://www.dlr.de/next/desktopdefault.aspx/tabid-6710/11006\\_read-25184/](https://www.dlr.de/next/desktopdefault.aspx/tabid-6710/11006_read-25184/), <https://www.techinsider.ru/technologies/10632-protiv-vetra-aerodinamika/>].

вычислительной гидрогазодинамики (Computational Fluid Dynamics, CFD).

### Разработка расчётной модели

Численное моделирование в программных комплексах – сравнительно новый метод исследования аэродинамики, получивший широкое распространение в связи с существенным возрастанием вычислительных мощностей. Метод численного моделирования основан на решении системы из уравнений неразрывности воздушной среды, уравнений движения и сохранения энергии, дополняемых уравнениями моделей турбулентности воздушного потока.

Для решения системы уравнений программные комплексы используют метод конечных объёмов, заключающийся в разбитии расчётной области на непересекающиеся контрольные объёмы (рис. 3) [8–9].

Порядок решения задач вычислительной гидрогазодинамики можно разделить на три основных этапа: подготовительный этап,

основной этап и этап постобработки. На подготовительном этапе разрабатывается трёхмерная геометрическая модель рассматриваемой задачи с её последующей дискретизацией (построение расчётной сетки). На основном этапе задаются параметры расчётного эксперимента (модель турбулентности, граничные и начальные условия, временная дискретизация) с последующим расчётом.

На этапе постобработки выполняется построение картин распределения, графиков давлений, скоростей, кинетической энергии и других требуемых характеристик воздушной среды.

В качестве программного обеспечения, позволяющего выполнить полный комплекс работ по численному моделированию аэродинамического взаимодействия высокоскоростного поезда, воздушной среды и объектов, расчёты аэродинамики как в стационарной, так и в нестационарной постановке инфраструктуры, был выбран программный комплекс ANSYS CFX.

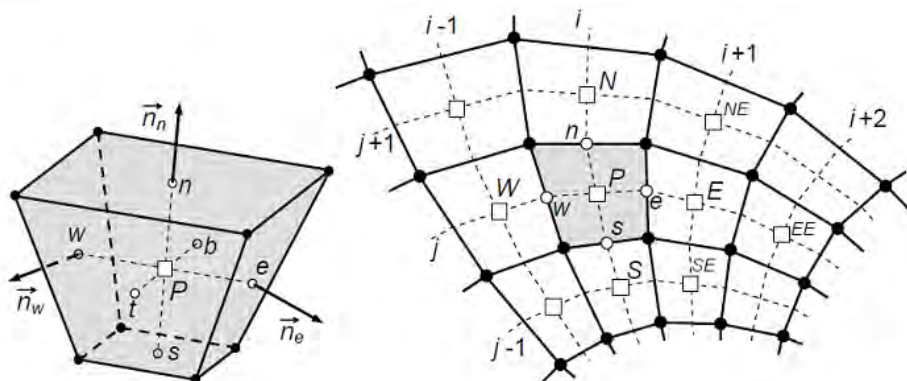


Рис. 3. Сетка контрольных объёмов с привязкой к центру ячеек [9]  
(□ – центр объёма, ● – узел сетки, ○ – середина грани).

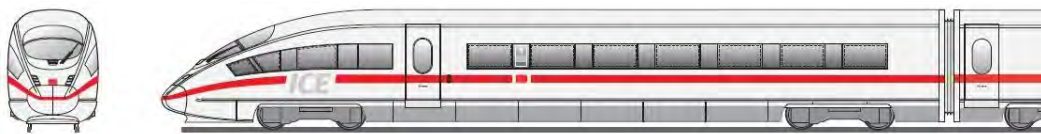


Рис. 4. Высокоскоростной электропоезд на платформе Siemens Velaro [https://german160.wordpress.com/author/mytrainmaster/page/7/].

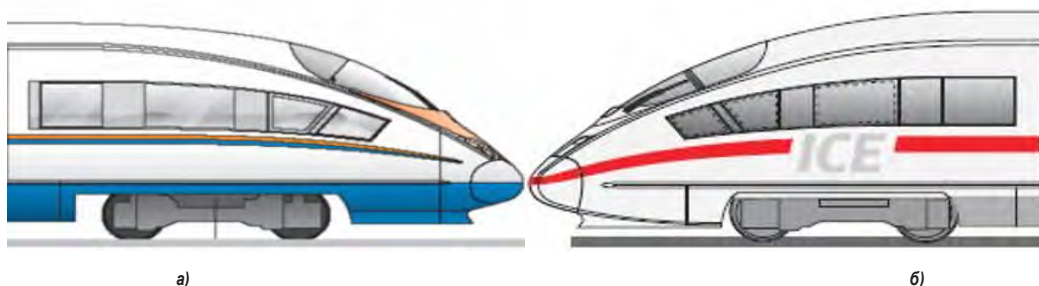


Рис. 5. Форма головного обтекателя высокоскоростного поезда: а – ICE3, б – ЭВС1/2 «Сапсан» [https://german160.wordpress.com/author/mytrainmaster/page/7/, http://emupages.ru/history-technology-highspeed-sapsan.htm; доработано автором].

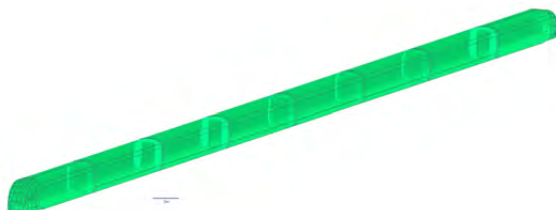


Рис. 6. Разработанная геометрическая модель высокоскоростного электропоезда «Сапсан» [разработано автором].

### Разработка геометрической модели высокоскоростного поезда

Расчётным подвижным составом были приняты высокоскоростные электропоезда на платформе Siemens Velaro. На сегодняшний день поезда, сконструированные на этой платформе, эксплуатируются на скоростных и высокоскоростных магистралях Германии (ICE-3), Испании (AVE S-103), Китая (CRH 3) и России (ЭВС 1, ЭВС 2).

Одним из принципиальных факторов при выборе расчётного поезда являлась эксплуатация высокоскоростного поезда ЭВС 1/2 «Сапсан» на существующей сети Российских железных дорог. Одним из существенных отличий «Сапсана» от других одноплатформенных поездов являлось изменение формы головного обтекателя (рис. 5), обусловленное российскими требованиями к эксплуатируемому подвижному составу.

Состав расчётного поезда был принят по восьмивагонной схеме (два головных и шесть промежуточных).

Разработка трёхмерной геометрической модели высокоскоростного поезда выполнена в AutoCAD с последующей доработкой и подготовкой в программе SpaceClaim. Для оптимизации расчётной сетки и сокращения времени расчёта в геометрической модели был сделан ряд упрощений, имеющих локальный эффект и не оказывающих существенного влияния на картину распределения воздушных масс вокруг вагонов поезда. Разработанная геометрическая модель приведена на рис. 6.

### Разработка модели на основе метода скользящих сеток

При решении задачи аэродинамического взаимодействия движущегося высокоскоростного поезда, воздушной среды и объектов инфраструктуры наиболее удобным и корректным способом моделирования является использование метода скользящих сеток [10–12]. При использовании данного метода расчётная модель разделяется на стационар-





Рис. 7. Принципиальная схема модели на основе модели «ротор–статор» [разработана автором].

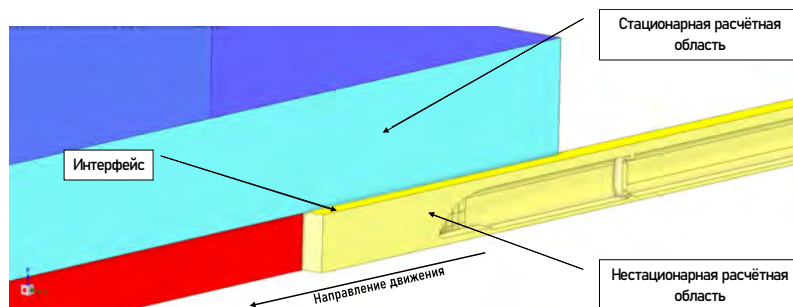


Рис. 8. Схема расчётной модели на основе метода скользящих сеток [разработана автором].

ную и нестационарную составляющие. Нестационарная составляющая представляет собой объём воздуха, из которого вычтен объём, эквивалентный модели поезда, с заданными направлением и скоростью движения. Стационарная составляющая представляет собой фрагмент воздушной среды с расположенными в нём рассматриваемыми объектами инфраструктуры, в котором вырезан «тоннель» для движения в нём нестационарной составляющей модели. Взаимодействие стационарной и нестационарной частей модели осуществляется через сеточный интерфейс. Наиболее точная работа сеточного интерфейса достигается при вращательном относительном движении расчётных областей (модель «ротор–статор»). Таким образом, при задании движения нестационарной части расчётной модели по окружности большого радиуса (более 1000 км) может быть смоделировано её линейное движение (рис. 7).

Такой подход требует крайне точной проработки геометрии расчётной области ввиду кривизны поверхностей контактных интерфейсов. Также, для определения аэродинамической силы и момента, действующих на поезд, необходимо задание индивидуальной динамической системы координат для каждого вагона расчётного поезда. С учётом вышеперечисленных факторов было решено прибегнуть к заданию движения нестационарной

части модели не как вращательного по бесконечно большому радиусу, а как поступательного с заданием движения через команды на языке программирования CFX CCL. Принципиальная схема разработанной расчётной модели приведена на рис. 8.

Основным достоинством использования данного метода является возможность проработки пограничного слоя как вокруг рассматриваемых сооружений и конструкций, так и непосредственно вокруг самого движущегося поезда. Задание пристеночных слоёв у вагонов позволяет получить корректный градиент давлений на стенках вагонов и, как следствие, величины силы и момента, действующих на них, что позволяет наиболее корректно решать задачи аэродинамической устойчивости движущегося по мостам (или насыпям) высокоскоростного поезда при боковом ветре и задачи аэродинамического взаимодействия поезда и пролётных строений с ездой понизу (например, решетчатые фермы).

В качестве модели турбулентности, описывающей неупорядоченность движения воздушных масс, для рассматриваемой задачи была выбрана наиболее часто используемая в задачах архитектурно-строительной аэродинамики и аэродинамики подвижного состава универсальная модель SST, демонстрирующая высокую точность и достоверность

как в пристеночных течениях, так и на отдалениях от стенок [13–16].

При разработке модели было смоделировано движение поезда вдоль земной поверхности. Принятый уровень земной поверхности соответствует отметке головки рельса (1,1 м от уровня автосцепки/маски головного обтекателя для электропоезда «Сапсан»). Так как в рассматриваемой задаче определяющими являются величины экстремальных давлений головной и хвостовой воздушных волн, расположенных выше уровня головного обтекателя, моделирование верхнего строения и насыпи пути не выполнялось.

Для верхней и боковых граней расчётного воздушного объёма были заданы открытые граничные условия «opening», обеспечивающие возможность обратных течений на поверхности. Для нижней грани воздушного объёма (поверхности земли) заданы граничные условия «free slip wall», для поверхности электропоезда принято граничное условие «no slip wall».

Число Рейнольдса для разработанных моделей находится в диапазоне от  $12,3 \cdot 10^6$  (при скорости поезда 200 км/ч) до  $15,4 \cdot 10^6$  (при скорости 250 км/ч). Число конечных объёмов расчётной модели составило 1,2 млн для стационарной области и 7,5 млн для подвижной области. Размер сеточных элементов на поверхности поезда не превышал 0,01 м. Размер сеточных элементов воздушного массива переменный – от 0,05 до 0,5 м со сгущением в области движущегося домена. Пограничный слой у поверхностей поезда детально не прорабатывался, так как его задание не является определяющим при расчётах аэродинамических нагрузок на окружающую инфраструктуру.

Задача рассматривалась в нестационарной постановке в диапазоне физического времени 6...10 с. Шаг по времени составлял 0,005 с. Число Куранта  $C_o$  не превышало 2.

#### **Разработка модели на основе метода погруженного тела**

Модель на основе скользящих сеток позволяет получить наиболее полную и достоверную картину взаимодействия высокоскоростного подвижного состава как с точки зрения воздействия на инфраструктуру, так и воздействия на подвижной состав. Однако применение метода скользящих сеток является достаточно затратным с точки зрения

вычислительных ресурсов и времени решения задачи, так как на каждом временном шаге требуется перестройка расчётной сетки.

Вместе с тем, при определении величины аэродинамического воздействия только на объекты инфраструктуры задание и моделирование пристеночного слоя вокруг высокоскоростного поезда не является обязательным. Данное допущение позволяет применить модель погруженного тела («immersed solid»), в которой модель поезда, представленного твёрдым телом, помещается в расчётный воздушный объём с заданием ему направления и скорости движения в этом объёме. Принцип работы данной модели заключается в формировании расчётной сетки для воздушной области и расчётного поезда с их дальнейшим перекрытием. Далее решатель на каждом временном шаге определяет перекрывающиеся узлы воздушной области и устанавливает в них скорость воздуха, равную скорости движения твёрдого тела.

Суммарное количество элементов расчётной модели составляет 24,1 млн ячеек. Размер ячеек расчётной области находится в диапазоне от 0,5 м до 0,01 м (сгущение к области движущегося тела). Максимальный размер элемента поезда составляет 0,01 м. Числа Рейнольдса и остальные граничные условия расчётного воздушного объёма и параметры нестационарной постановки (физическое время, шаг времени и т.д.) определены аналогично задаче с применением метода скользящих сеток. Число Куранта не превышало 3.

#### **Экспериментальная верификация разработанных расчётных моделей**

Для оценки степени достоверности результатов, полученных при использовании разработанных расчётных моделей, была выполнена их верификация по результатам экспериментальных измерений аэродинамического воздействия на воздушную среду высокоскоростного электропоезда «Сапсан» [17].

Экспериментальные измерения были выполнены на отдельных участках железной дороги Санкт-Петербург–Москва с установленными скоростями движения от 200 до 250 км/ч. Выбор мест измерений был осуществлён совместно с сотрудниками Мостоиспытательной станции № 1 Октябрьской железной дороги. Предварительно был выполнен анализ действующих установленных



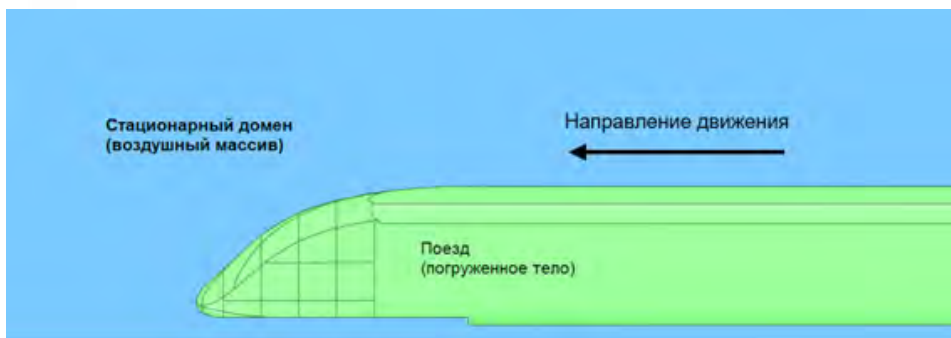


Рис. 9. Схема расчётной модели на основе метода погруженного тела [разработано автором].



Рис. 10. Процесс измерения аэродинамического воздействия от высокоскоростного электропоезда «Сапсан» [выполнено автором].

скоростей движения и наличия возможных мест изменения поездом скорости (опасные места, станции, кривые, работы на пути) на рассматриваемых участках. Таким образом, определённые для измерений места находились на участках равномерного движения. Дополнительно учитывалась скорость движения поездов по результатам графиков выполненных измерений (по расстоянию между головной и хвостовой воздушными волнами). Отклонение фактической скорости движения от установленной на участке составляло не более 4 км/ч (в меньшую сторону).

Измерения осуществлялись высокочастотными мембранными датчиками избыточного давления, устанавливаемыми в непосредственной близости от оси пути. Процесс измерений представлен на рис. 10.

Результаты измерений представляют собой графики изменения величины избыточного давления в неподвижной точке при прохождении высокоскоростного поезда. Пример графика приведён на рис. 11.

Путём обработки результатов измерений были получены картины распределения экстремальных величин избыточного давления и давления разрежения для скоростей движения от 200 до 250 км/ч в зависимости от расстояния от оси пути и высоты над уровнем головки рельса. Пример распределения величины избыточного давления при движении электропоезда «Сапсан» на скорости 250 км/ч представлен на рис. 12.

Для верификации разработанных расчётных моделей в них были заданы условия движения поезда и точки измерения, соответствующие скорости движения и местам установки датчиков при натурных измерениях. Временной шаг был установлен соответствующим частоте измерения датчиков (1 кГц). Таким образом, были смоделированы проезды поезда на скоростях 200, 220 и 250 км/ч с измерением давления в фиксированных точках. Сравнительные картины распределения давлений в уровне головы поезда для двух расчётных моделей приведены на рис. 13–15.

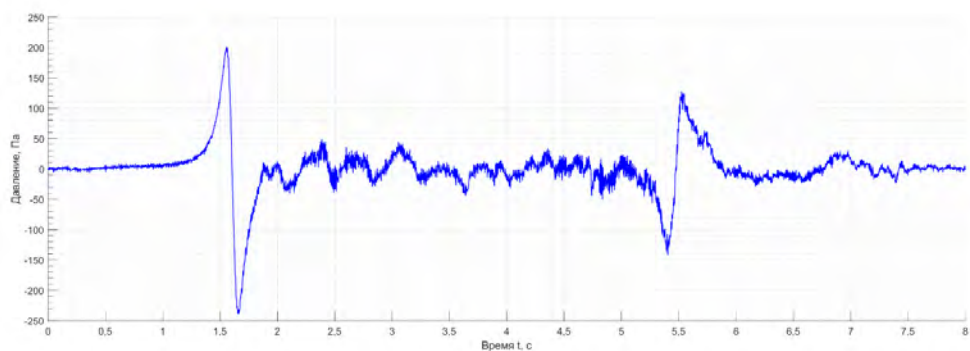


Рис. 11. График изменения величины давления при движении высокоскоростного электропоезда «Сапсан» на скорости 250 км/ч [выполнено автором] [17].

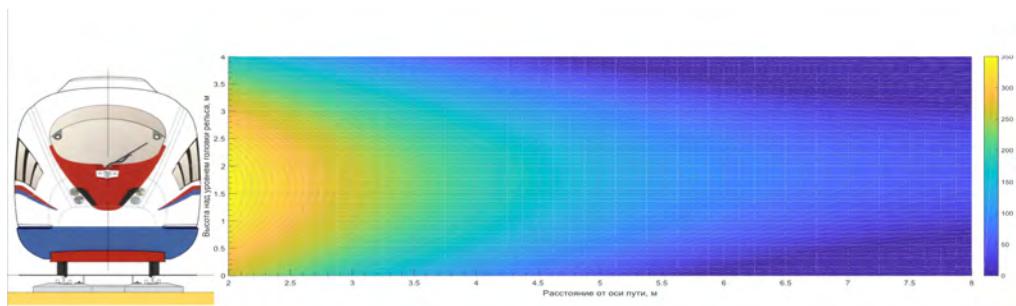


Рис. 12. Распределение величины избыточного давления при движении высокоскоростного электропоезда «Сапсан» на скорости 250 км/ч [выполнено автором].

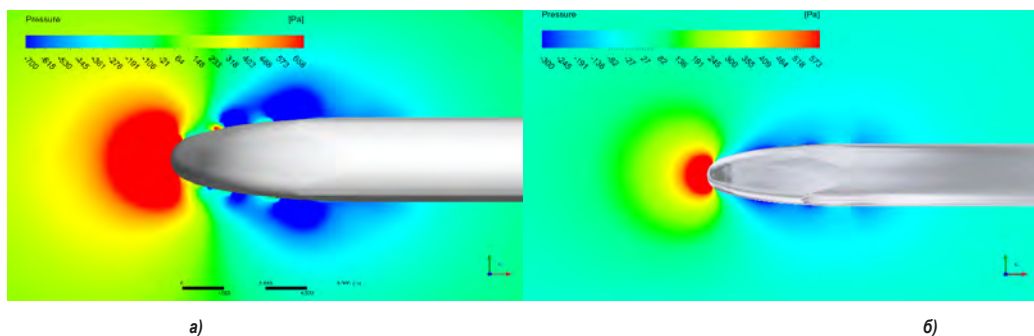


Рис. 13. Распределение давлений у первого вагона расчётного поезда на высоте 1,1 м при скорости 200 км/ч (а – метод погруженного тела, б – метод скользящих сеток) [выполнено автором].

Полученные изображения демонстрируют качественно похожую картину распределения давления вокруг поезда, но, за счёт более детальной дискретизации сетки и проработки пограничного слоя вокруг поезда, модель с использованием метода скользящих сеток демонстрирует более детальное и точное распределение давлений у поверхности вагона, что прямым образом влияет на определение величины аэродинамических сил, действующих на поезд.

Результаты сопоставления экспериментальных и расчётных величин экстремальных

давлений в точках измерения приведены на рис. 16 и в табл. 1.

Разброс величины расхождения обуславливается локальными условиями местности и окружения на местах экспериментальных измерений (наличие в непосредственной близости от мест измерений служебных помещений, устройств электроснабжения, станционных и эксплуатационных обустройств). Максимальная величина расхождения составляет 15 %, среднее расхождение не превышает 10 %.

Также, для верификации разработанных расчётных моделей в более широком диапазоне



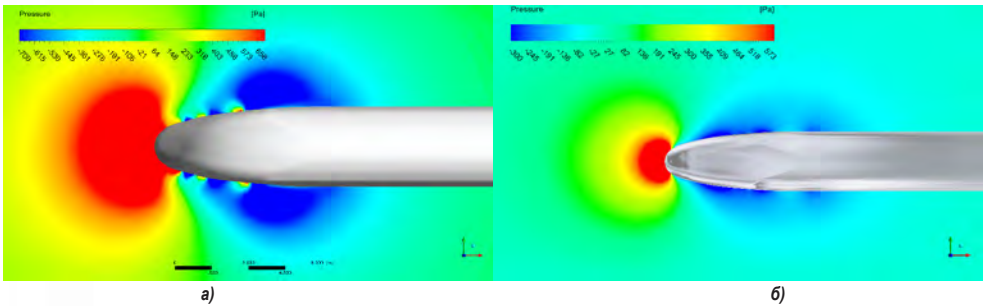


Рис. 14. Распределение давлений у первого вагона расчётного поезда на высоте 1,1 м при скорости 220 км/ч (а – метод погруженного тела, б – метод скользящих сеток) [выполнено автором].

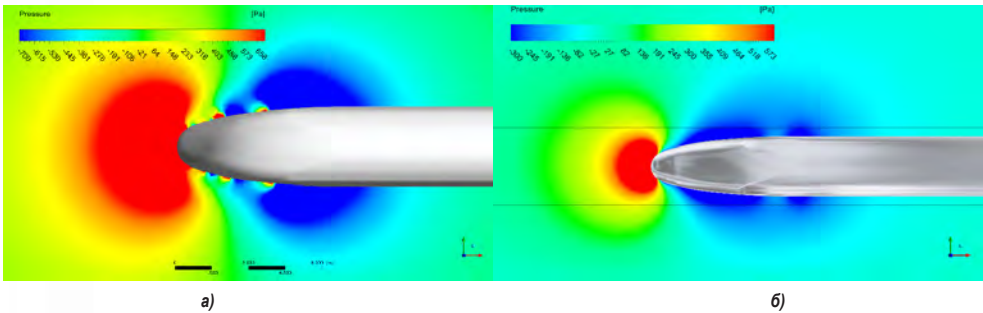


Рис. 15. Распределение давлений у первого вагона расчётного поезда на высоте 1,1 м при скорости 250 км/ч (а – метод погруженного тела, б – метод скользящих сеток) [выполнено автором].

Таблица 1

Результаты сопоставления экспериментальных и расчётных величин экстремальных давлений [выполнено автором]

| Скорость | Расстояние от оси пути, м | Высота над уровнем головки рельса, м | Расхождение, %           |                      |                         |                      |
|----------|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|
|          |                           |                                      | модель погруженного тела |                      | модель скользящих сеток |                      |
|          |                           |                                      | максимальное давление    | минимальное давление | максимальное давление   | минимальное давление |
| 200      | 3,3                       | 3,1                                  | 9                        | 4                    | 13                      | 10                   |
|          | 3,4                       | 2,15                                 | 13                       | 12                   | 10                      | 14                   |
|          | 3,4                       | 2,5                                  | 12                       | 8                    | 8                       | 15                   |
|          | 3,8                       | 2,6                                  | 14                       | 2                    | 15                      | 11                   |
|          | 4                         | 1,3                                  | 1                        | 1                    | 12                      | 5                    |
|          | 7,1                       | 4,2                                  | 9                        | 12                   | 4                       | 14                   |
| 220      | 7,6                       | 1,35                                 | 3                        | 1                    | 13                      | 6                    |
|          | 3,5                       | 2,15                                 | 15                       | 1                    | 1                       | 7                    |
|          | 7,5                       | 3,1                                  | 13                       | 13                   | 15                      | 10                   |
|          | 7,5                       | 2,4                                  | 1                        | 10                   | 14                      | 7                    |
|          | 8                         | 2,6                                  | 14                       | 9                    | 10                      | 2                    |
|          | 8,5                       | 2,15                                 | 3                        | 10                   | 2                       | 15                   |
| 250      | 2,4                       | 2,7                                  | 11                       | 5                    | 11                      | 5                    |
|          | 3,1                       | 2,4                                  | 14                       | 15                   | 3                       | 12                   |
|          | 3,4                       | 1,7                                  | 12                       | 15                   | 7                       | 15                   |
|          | 4,2                       | 1,5                                  | 5                        | 15                   | 13                      | 5                    |
|          | 9,2                       | 1,5                                  | 14                       | 15                   | 2                       | 10                   |

скоростей, было выполнено сравнение полученных в программном комплексе результатов с данными зарубежных экспериментальных измерений аэродинамического воздействия при прохождении высокоскоростного поезда ICE3

при скорости 300 км/ч (рис. 17) [18]. Величина расхождения между экстремальными значениями составляет не более 8 %.

Таким образом, из результатов верификации следует, что разработанные расчётные



Рис. 16. Сопоставление величин избыточного давления в контрольно-измерительной точке, полученных численно и экспериментально для высокоскоростного электропоезда «Сапсан» на скорости 250 км/ч (расстояние от оси пути 3,1 м, высота над уровнем головки рельса 2,4 м) [выполнено автором].

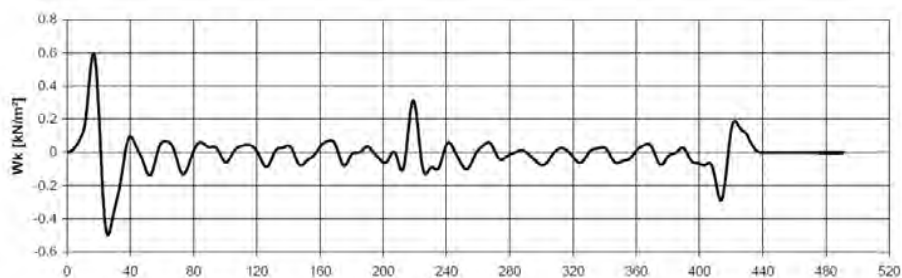


Рис. 17. График величины давления по длине высокоскоростного электропоезда, движущегося со скоростью 300 км/ч [18] (по оси  $x$  – длина электропоезда,  $y$  – величина давления).

модели обладают достаточной степенью достоверности и могут быть использованы при решении задач аэродинамического взаимодействия высокоскоростного подвижного состава с воздушной средой и объектами инфраструктуры.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье были рассмотрены различные подходы к численному моделированию аэродинамического взаимодействия высокоскоростного подвижного состава, воздушной среды и объектов инфраструктуры. Разработанные расчётные модели были верифицированы на основе экспериментальных измерений аэродинамического воздействия высокоскоростного электропоезда «Сапсан» и результатов аналогичных зарубежных исследований. Наибольшая величина расхождения между расчётными и экспериментальными величинами составляет не более 15 %, что позволяет сделать вывод о достаточной достоверности разработанных моделей.

Сравнение двух различных подходов (метод скользящих сеток и метод погруженного тела) к моделированию аэродинамики движущегося поезда относительно неподвижных объектов даёт возможность сделать выводы о целесообразности их применения в зависимости от постановки задачи.

Так, для определения величины аэродинамической силы и момента, действующих на вагоны расчётного поезда, необходимо использовать метод скользящих сеток, позволяющий сформировать пограничный слой вблизи стенок вагонов и получить наиболее корректную картину распределения воздушных масс и, как следствие, достоверные величины воздействия на подвижной состав.

Для определения степени аэродинамического воздействия на различные объекты инфраструктуры предполагается использование метода погруженного тела. Такой подход не позволяет смоделировать пограничный слой вокруг стенок расчётного поезда и, как следствие, получить достоверные величины аэродинамических нагрузок на подвижной





состав. Однако при определении степени аэродинамического воздействия на инфраструктуру данный фактор не является обязательным. Также метод погруженного тела требует существенно меньших вычислительных и временных затрат, что делает его наиболее рациональным при решении задач определения аэродинамического воздействия на конструкции и сооружения.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Смирнов В. Н., Дьяченко А. О., Дьяченко Л. К. Особенности проектирования мостов на высокоскоростных железнодорожных магистралях // БРНИ. – 2017. – № 3. – С. 69–81. [Электронный ресурс]: <http://brni.info/download/выпуск-24.pdf> (полный текст номера). Доступ 03.07.2022.
2. Ватулина Е. Я., Комиссаров Е. В., Поляков Б. О., Ватулин Я. С. Проектирование защитных сооружений приближенных строений железнодорожной инфраструктуры на основе методики оценки аэродинамического влияния высокоскоростного подвижного состава // Вестник научных конференций. – 2016. – № 4–2. – С. 26–34. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26083569>. Доступ 03.07.2022.
3. Лазаренко Ю. М., Капускин А. Н. Аэродинамическое воздействие высокоскоростного электропоезда «Сапсан» на пассажиров на платформах и на встречные поезда при скрещении // Вестник ВНИИЖТ. – 2012. – № 4. – С. 11–14. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17876171>. Доступ 03.07.2022.
4. Baker, C. J. A review of train aerodynamics. Part 1 – Fundamentals. The Aeronautical Journal, 2014, Vol. 118, Iss. 1201, pp. 201–228. DOI: <https://doi.org/10.1017/S00019240000909X> [ограниченный доступ].
5. Baker, C. J. A review of train aerodynamics. Part 2 – Application. The Aeronautical Journal, 2014, Vol. 118, Iss. 1202, pp. 345–382. DOI: <https://doi.org/10.1017/S000192400009179> [ограниченный доступ].
6. Казакевич М. Н. Аэродинамика мостов. – М.: Транспорт, 1987. – 240 с.
7. Айрапетов А. Б., Катунин А. В. Исследование картины аэродинамического взаимодействия скоростного поезда, движущегося под конструкцией автомобильного путепровода на установе прямого движения // Материалы XXVII науч.-техн. конференции по аэродинамике, г. Жуковский, Московская область, 21–22 апреля 2016 года. Центральный Аэрогидродинамический институт имени проф. Н. Е. Жуковского (ЦАГИ): 2016. – С. 23–24. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26232990>. Доступ 03.07.2022.
8. Смирнов Е. М., Зайцев Д. К. Метод конечных объемов в приложении к задачам гидрогазодинамики и теплообмена в областях сложной геометрии // Научно-технические ведомости. – 2004. – № 2. – С. 1–22. [Электронный ресурс]: <https://aero.spbstu.ru/publ/smironov3.pdf>. Доступ 03.07.2022.
9. Gullberg, R. Computational Fluid Dynamics in OpenFOAM. Mesh Generation and Quality. TKP 4555 Advanced Process Simulation. Norwegian University of Science and Technology. Final Report, 2017. [Электрон-

ный ресурс]: [https://folk.ntnu.no/preisig/HAP\\_Specials/AdvancedSimulation\\_files/2017/project%20reports/CFD/Rebecca%20Gullberg%20-%20CFD\\_Mesh\\_Report.pdf](https://folk.ntnu.no/preisig/HAP_Specials/AdvancedSimulation_files/2017/project%20reports/CFD/Rebecca%20Gullberg%20-%20CFD_Mesh_Report.pdf). Доступ 03.07.2022.

10. Khayrulina, A., Blocken, B., Janssen, W., Straathof, J. CFD simulation of train aerodynamics: Train-induced wind conditions at an underground railroad passenger platform. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2015, Vol. 139, pp. 100–110. DOI: [10.1016/j.jweia.2015.01.019](https://doi.org/10.1016/j.jweia.2015.01.019).

11. Iliadis, P., Hemida, H., Soper, D., Baker, C. Numerical simulations of the separated flow around a freight train passing through a tunnel using the sliding mesh technique. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 2019, Vol. 234, Iss. 6, pp. 638–654. DOI: <https://doi.org/10.1177/0954409719851421>.

12. Yebo, Liu; Hemida, H., Zhiming, Liu. Large eddy simulation of the flow around a train passing a stationary freight wagon. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 2013, Vol. 228, Iss. 5, pp. 535–545. DOI: <https://doi.org/10.1177/0954409713488096>.

13. Вальгер С. А., Фёдоров А. В., Фёдорова Н. Н. Моделирование несжимаемых турбулентных течений в окрестности плохообтекаемых тел с использованием ПК ANSYS Fluent // Вычислительные технологии. – 2013. – № 5. – С. 27–40. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20345326>. Доступ 03.07.2022.

14. Локтев А. А., Королев В. В., Поддаева О. И., Степанов К. Д., Черников И. Ю. Математическое моделирование аэродинамического поведения антенномачтовых сооружений при организации связи на железнодорожном транспорте // Вестник ВНИИЖТ. – 2018. – № 2 (77). – С. 77–83. DOI: [10.21780/2223-9731-2018-77-2-77-83](https://doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-2-77-83).

15. Maleki, S., Burton, D., Thompson, M. C. Assessment of various turbulence models (ELES, SAS, URANS and RANS) for predicting the aerodynamics of freight train container wagons. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2017, Vol. 170, pp. 68–80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2017.07.008> [ограниченный доступ].

16. Zampieri, A., Rocchi, D., Schito, P., Somaschini, C. Numerical-experimental analysis of the slipstream produced by a high-speed train. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2019, Vol. 196, art. 104022. DOI: [10.1016/j.jweia.2019.104022](https://doi.org/10.1016/j.jweia.2019.104022) [ограниченный доступ].

17. Лабутин Н. А., Дьяченко Л. К., Ланг А. В. Экспериментальные измерения аэродинамики подвижного состава // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 3 (62). – С. 40–48. DOI: [10.52170/1815-9265\\_2022\\_62\\_40](https://doi.org/10.52170/1815-9265_2022_62_40).

18. Hoffmeister, B. Lärmschutzwände an Hochgeschwindigkeitsstrecken der Bahn – eine Herausforderung für den Leichtbau. D-A-CH Tagung der Österreichischen Gesellschaft für Erdbeningenieurwesen und Baudynamik. Vienna, 27–28 September 2007, pp. 1–11. [Электронный ресурс]: [http://oge.or.at/pdf/d-a-ch\\_2007/05\\_Laermschutzwaeende-an-Hochgeschwindigkeitsstrecken\\_eine-Herausforderung-fuer-den-Leichtbau.pdf/](http://oge.or.at/pdf/d-a-ch_2007/05_Laermschutzwaeende-an-Hochgeschwindigkeitsstrecken_eine-Herausforderung-fuer-den-Leichtbau.pdf/). Доступ 03.07.2022. ●

## Информация об авторе:

**Лабутин Никита Андреевич** – инженер, аспирант кафедры «Мосты» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия, [n\\_labutin@outlook.com](mailto:n_labutin@outlook.com).

Статья поступила в редакцию 06.07.2022, одобрена после рецензирования 06.09.2022, принята к публикации 10.09.2022.



# Оптимизация аэродинамической формы монорельсового подвешного юнибуса



Анатолий ЮНИЦКИЙ



Сергей АРТЮШЕВСКИЙ



Михаил ЦЫРЛИН

*Анатолий Эдуардович Юницкий<sup>1</sup>, Сергей Владимирович Артюшевский<sup>2</sup>, Михаил Иосифович Цырлин<sup>3</sup>*

<sup>1, 2, 3</sup> ЗАО «Струнные технологии», Минск, Беларусь.

✉ <sup>3</sup> [m.tsirlin@unitsky.com](mailto:m.tsirlin@unitsky.com).

## АННОТАЦИЯ

В статье описана аэродинамическая оптимизация формы монорельсового подвешного юнибуса струнного транспорта. Изучалось влияние геометрических и конструктивных элементов на аэродинамические характеристики. Оценка выполнялась в сравнительном анализе показателей двух форм с дальнейшим изменением и перерасчётом дорабатываемой модели, сравнивались в первую очередь сила лобового сопротивления и коэффициент сопротивления формы. В расчётах применялась модель газовой динамики на основе уравнений Рейнольдса с использованием SST-k- $\omega$ -модели переноса сдвиговых напряжений Ментера. Для решения уравнений с целью нахождения искомых функций использовалась противопоточная схема дискретизации второго порядка с применением процедуры уточнения «давление–скорость» в рамках алгоритма SIMPLE Патанкара–Сполдинга; использовался программно-вычислительный комплекс ANSYS Fluid Dynamics. Размеры расчётной области были выбраны

с учётом геометрических размеров 3D-модели формы. Идентификация граничных условий производилась в решателе. Моделирование выполнялось для случая движения транспорта с постоянной скоростью.

Расчёты показали важность и влияние геометрии переходных участков корпуса транспортного средства, обязательность применения колёсных обтекателей и преимущества S-образного хвостовика. Предложенная оптимизация конструкции позволила на 16,9 % снизить силу и коэффициент аэродинамического сопротивления. По результатам проведённых исследований была выбрана оптимальная модель транспортного средства, обладающая наименьшим коэффициентом аэродинамического сопротивления, что позволило улучшить энергетическую экономичность системы и повысить её экологичность, как следствие – увеличить потенциальную рентабельность перевозочного процесса.

**Ключевые слова:** струнный транспорт, юнибус, аэродинамика, модель, сила лобового сопротивления, коэффициент сопротивления формы, распределение давления по лобовой поверхности модели, оптимизация формы модели.

**Для цитирования:** Юницкий А. Э., Артюшевский С. В., Цырлин М. И. Оптимизация аэродинамической формы монорельсового подвешного юнибуса // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 4 (101). С. 17–26. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-2>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.  
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

## ВВЕДЕНИЕ

### Описание математической модели и методика аэродинамического расчёта

Воздействие набегающего потока воздуха со скоростью  $V$  на транспортное средство (ТС) сводится к нагрузкам, непрерывно распределённым по его поверхности. Эти распределённые нагрузки приводят к результирующей аэродинамической силе, приложенной в центре давления, и аэродинамическому моменту сил вокруг центра масс. Сумма сил лобового сопротивления и подъёмной силы составляют аэродинамическую силу. Сама сила лобового сопротивления складывается из сопротивления давления и сопротивления трения [1].

При обдувании формы происходит поджатие набегающего потока воздуха с наветренной (лобовой) стороны с образованием зоны повышенного давления. Поток воздуха, обтекающий контур, устремляется к его задней части. Действие сил вязкого трения вызывает нарастание динамического пограничного слоя, и в дальнейшем происходит отрыв потока воздуха от поверхности и образование вихревого следа за ним. В задней части находится зона пониженного давления, куда постоянно осуществляется подсос воздуха.

Сила сопротивления давления создаётся за счёт перепада давления воздуха на лобовую и кормовую части ТС. В свою очередь сила сопротивления трения обусловлена «прилипанием» к поверхности формы слоёв перемещающегося воздуха, вследствие чего воздушный поток теряет скорость. В этом случае величина силы сопротивления трения зависит от свойств материала, качества и состояния поверхности [2].

Омывание ТС воздухом со скоростью в пределах 150 км/ч (41,7 м/с) происходит в турбулентном режиме (число Рейнольдса  $Re = 13,5 \cdot 10^6 > 10^6$ ). В таких случаях для решения практических задач турбулентного обтекания применяется система уравнений Рейнольдса (RANS) и неразрывности или аналогов, применяющих методы крупных вихрей – LES:

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0, \quad \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_j \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \nu \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \bar{u}_j \bar{u}_i \right],$$

где  $\bar{u}_i$ ,  $\bar{u}_j$  – рейнольдсовы напряжения, замыкающиеся на основе гипотезы Буссинеска с помощью турбулентной вязкости  $\nu_t$  [3].

От стандартных уравнений Навье–Стокса их отличает присутствие дополнительной турбулентной вязкости  $\nu_t$ , многократно превосходящей по значению молекулярную вязкость набегающего воздуха.

Согласно [4], для решения задач внешнего обтекания рекомендуется применять  $k-\omega$  модели Саффмена–Вилкокса, модели Спаларта–Аллмареса, модели переноса сдвиговых напряжений Ментера и  $k-\epsilon$  модель Лондера и Джонса для кинетической энергии турбулентных пульсаций  $k$  и скорости её диссипации  $\epsilon$ .

Для численного решения применяется модель газовой динамики, основанная на уравнении Рейнольдса (RANS подход). В данной постановке задачи определяемыми функциями служат скорость омывания воздушными потоками поверхности юнибуса и давление на его поверхностях, предполагается изотермичность и несжимаемость (постоянство температуры и плотности) воздушного потока как среды, обтекающей транспорт [5]. Для решения уравнений Рейнольдса выбрана модель турбулентности типа SST- $k-\omega$  модели переноса сдвиговых напряжений Ментера [6; 7].

### Цель работы

Целью данной работы являлось предоставление информации по аэродинамической оптимизации монорельсового подвешного юнибуса сложной геометрической формы с использованием современного программно-вычислительного комплекса ANSYS Fluid Flow [8; 9].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Подготовка модели и процедура исследования аэродинамики формы

В качестве основы построения 3D-модели для проводимых расчётов был взят сборочный элемент монорельсового подвешного юнибуса струнного транспорта (рис. 1), который в дальнейшем был доработан с учётом особенностей построения расчётной сетки: внутренние элементы, не оказывающие влияние на аэродинамику, удалены, внешние элементы слиты в одну деталь, внутренние полости заполнены.

Размеры расчётной области выбирались с учётом геометрических размеров 3D-модели формы. Расчётная область представляет собой параллелепипед с геометрическими размерами 50,0 x 11,5 x 13,0 м (рис. 2).

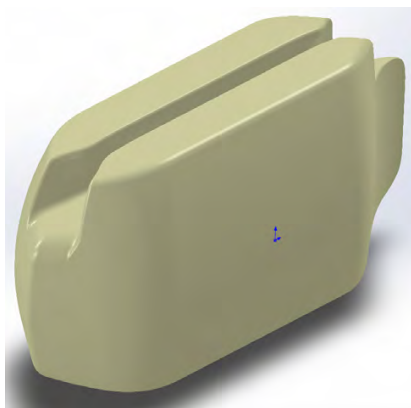


Рис. 1. Рабочая 3D-модель формы монорельсового подвешного юнибуса [выполнено авторами].

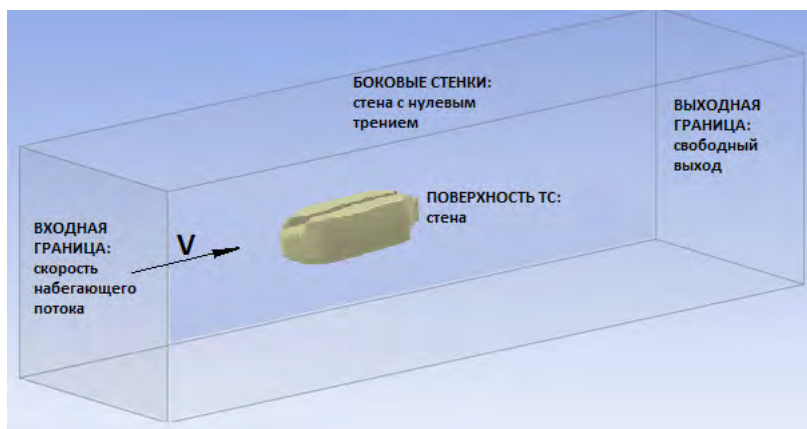


Рис. 2. Расчётная область с моделью подвешного юнибуса [выполнено авторами].

Для расчёта принята стандартная система координат: направление оси  $X$  выбрано противоположно направлению движения транспортного средства, совпадает с направлением силы сопротивления движению; ось  $Y$  – вертикальная ось, направленная вверх, совпадает с подъёмной силой; ось  $Z$  – направлена перпендикулярно оси  $X$  в горизонтальной плоскости.

Идентификация граничных условий производилась в решателе как части программного комплекса ANSYS Fluent [10]. Моделирование выполнено для случая движения транспорта с постоянной скоростью, продольная её составляющая равнялась скорости набегающего потока [11] и задавалась на входной границе: скорость набегающего потока – 41,7 м/с (150 км/ч). Омывание происходит потоком воздуха при нормальном атмосферном давлении 101325 Па и постоянной температуре, равной 15°C, интенсивность турбулентности – 5 %, масштаб турбулентности – 10. На выходной границе принимались

«мягкие» граничные условия выхода. На боковых поверхностях расчётной области ставились условия стенки, но с нулевым трением (условие скольжения потока у стенки), что позволяло имитировать реальные условия неограниченной области в ограниченном пространстве [12]. Для поверхностей модели формы были приняты условия прилипания (отсутствие проскальзывания – No-slip).

Подвижной средой выбран воздух при 20°C. Размеры и тип сетки для всех расчётов приняты одинаковыми; предварительные анализы степени дробления сетки показали незначительное влияние на значение определяемого коэффициента сопротивления. Максимальное влияние определено при дроблении сетки в пристеночной зоне с использованием пограничного слоя с прогрессирующими размерами первой ячейки и адаптации сетки путём её дробления в два раза. В расчёте принята адаптация по числу  $y^+$  со значением один. При  $y^+ = 1$  сетка стремится к ситуации, когда в пристеночном слое формиру-





Рис. 3. Модель № 1 [выполнено авторами].

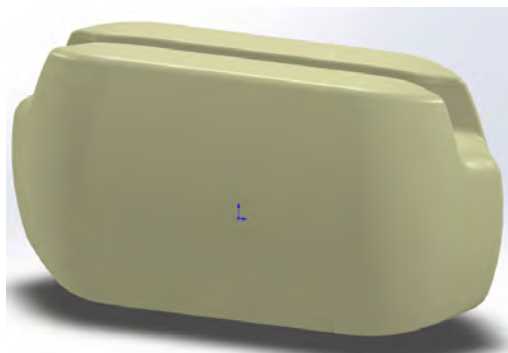


Рис. 4. Модель № 2 [выполнено авторами].

ется несколько расчётных узлов. Это позволяет учесть влияние пограничного слоя. Каждая адаптация сетки измельчала в два раза пристеночную зону. В расчёте провели четыре адаптации, приближающих  $y^+$  к единице. После четвёртой адаптации результат искажается, дальнейшее дробление сетки теряет смысл. Предположительно, это связано с численной ошибкой, так как размеры адаптивной сетки при уменьшении в два раза меняются более чем на 20 %, что приводит к искажению полученных результатов. В качестве допущения принято отсутствие эффекта сжимаемости воздуха. Существенное проявление эффекта сжимаемости появляется при числе Маха больше  $1/3$ , тогда как скорость звука в воздухе при заданных условиях близка к 330 м/с, что в 2,6 раза выше расчётной скорости движения.

Для решения уравнений Рейнольдса с SST- $k-\omega$  моделью Ментера с целью нахождения искомых функций применялась противопоточная схема дискретизации второго порядка с применением процедуры уточнения «давление–скорость» по SIMPLE алгоритму Патанкара–Сполдинга [13; 14].

Инициализация производилась по параметрам потока на входной границе расчётной области.

### ОЦЕНКА АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Оценка выполнялась в сравнительном анализе аэродинамических характеристик двух форм с дальнейшим изменением и перерасчётом дорабатываемой модели.

Сравнивались:

1. Поле распределения давления.
2. Сила лобового сопротивления  $F_x$ .
3. Коэффициент сопротивления формы  $C_x$ .
4. Наличие турбулизированных потоков.

Расчёт определения силы и коэффициента

аэродинамического сопротивления проводился в программе ANSYS Fluent.

Как известно, поле давления определяет аэродинамическое сопротивление ветру любой конструкции; набегающий поток создаёт зону повышенного давления на передней поверхности; максимум давления соответствует точке наибольшего торможения потока воздуха.

Миделево сечение во всех моделях сохранялось одинаковым; длина изменялась в диапазоне от 4,85 до 5,03 м.

Первая пара сравниваемых моделей определяла исходные характеристики и показывала влияние хвостового S-образного обтекателя: в первой модели была применена комбинация «нос–хвост» (рис. 3), во второй – «нос–нос» (рис. 4).

Результаты расчётов для модели № 1 и № 2 представлены в табл. 1.

Результат получился противоположным от ожидаемого – у модели № 2, несмотря на отсутствие хвостового S-образного обтекателя, форма более аэродинамичная.

После анализа и сравнения результатов двух расчётов стало видно резкое падение давления на боковой поверхности модели № 1 в месте, где начинается радиус заднего обтекателя (рис. 5). В этом же месте у модели № 2 наблюдаются незначительные изменения давления (рис. 6).

Сравнив геометрию этих элементов, необходимо отметить (рис. 7), что желание укоротить хвостовой обтекатель у модели № 1, увеличив прямолинейный участок салона, приводит к уменьшению переходного радиуса и к срыву потока с ухудшением аэродинамических характеристик по сравнению с моделью № 2, несмотря на его короткий обтекатель и наличие донного сопротивления из-за «тупого» хвоста.

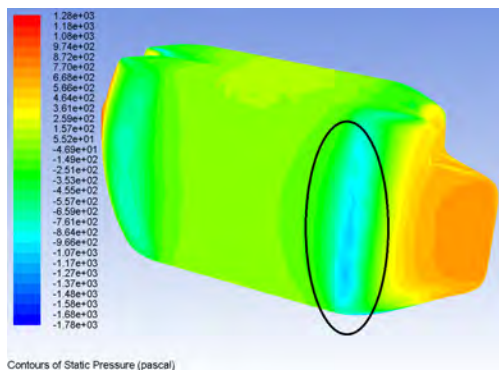


Рис. 5. Распределение давления по поверхности модели № 1 [выполнено авторами].

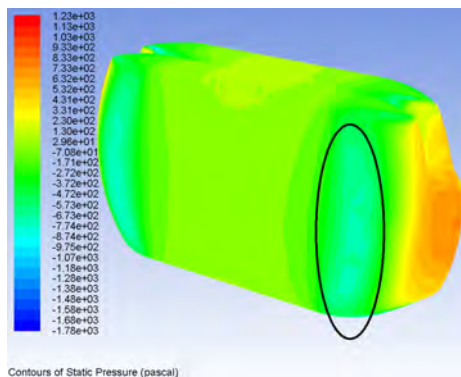


Рис. 6. Распределение давления по поверхности модели № 2 [выполнено авторами].

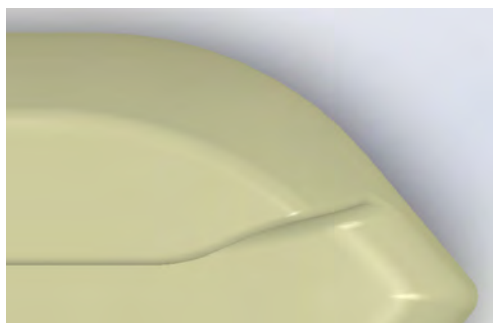
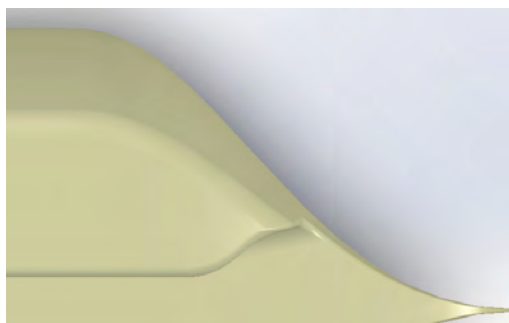


Рис. 7. Сравнение геометрии моделей № 1 и № 2 [выполнено авторами].



Рис. 8. Изменение геометрии заднего обтекателя в моделях № 3 и № 4 [выполнено авторами].



Рис. 9. Модель № 3 [выполнено авторами].



Рис. 10. Модель № 4 [выполнено авторами].



Таблица 1 [выполнена авторами]

| Номер модели | $F_x$ , Н | $C_x$ |
|--------------|-----------|-------|
| № 1          | 330       | 0,095 |
| № 2          | 302       | 0,086 |

Таблица 2 [выполнена авторами]

| Номер модели | $F_x$ , Н | $C_x$  |
|--------------|-----------|--------|
| № 3          | 296       | 0,0845 |
| № 4          | 372       | 0,1065 |

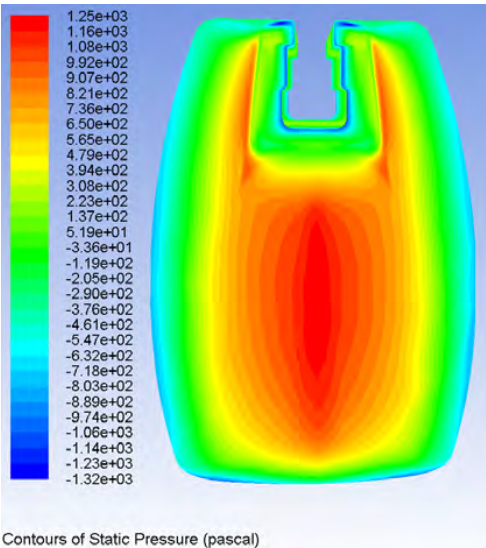


Рис. 11. Распределение давления по лобовой поверхности модели № 3 [выполнено авторами].

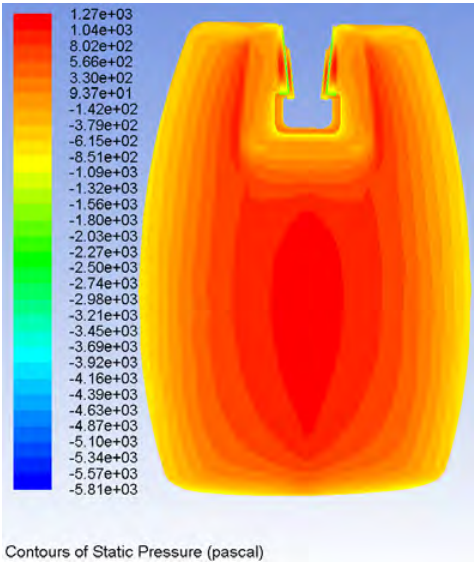


Рис. 12. Распределение давления по лобовой поверхности модели № 4 [выполнено авторами].

Рекомендацией для улучшения коэффициента сопротивления следующих моделей служит увеличение переходного радиуса в хвостовом обтекателе.

В моделях № 3 и № 4 были учтены результаты предыдущих расчётов, увеличен переходной радиус в хвостовом обтекателе (рис. 8) и проведено сравнение влияния открытых и закрытых колёс.

В модели № 3 колёса полностью закрыты обтекателями (рис. 9), в модели № 4 колёса выступают за пределы обтекателей (рис. 10).

Результаты расчётов для модели № 3 и № 4 представлены в табл. 2.

Расчёт показал значительное ухудшение коэффициента аэродинамического сопротивления (на 26 %) при открытых колёсах.

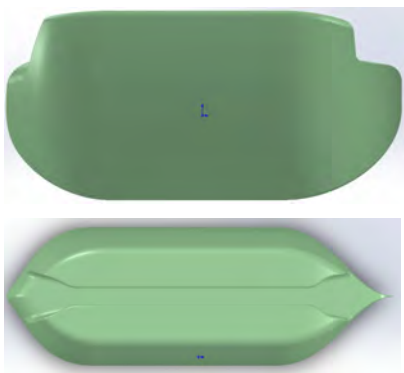


Рис. 13. Модель № 5 [выполнено авторами].

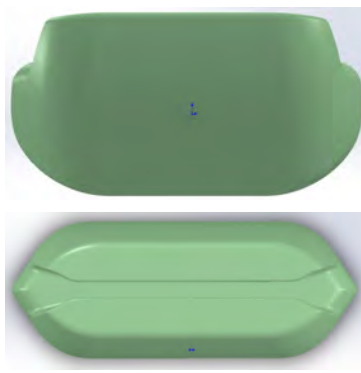


Рис. 14. Модель № 6 [выполнено авторами].

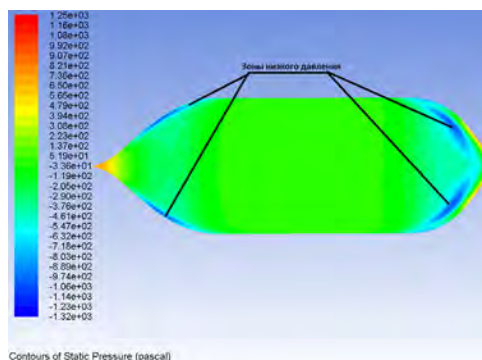


Рис. 15. Распределение давления по днищу транспортного средства модели № 3 [выполнено авторами].

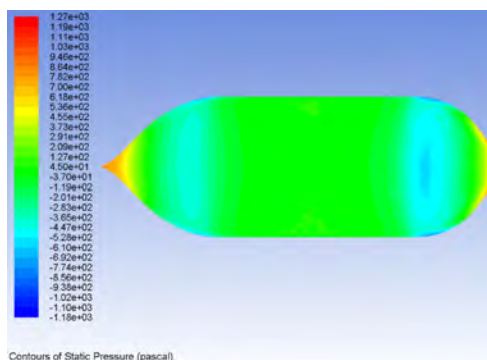


Рис. 16. Распределение давления по днищу транспортного средства модели № 5 [выполнено авторами].

Лобовые, боковые и хвостовые поверхности моделей (рис. 11, 12) подвержены одинаковому давлению, при этом модель № 4 выглядит более «красной» из-за падения нижнего предела давления с  $-1,32e + 03$  до  $-5,81e + 03$ , в результате чего «зелёная» зона сместилась вверх по шкале; разницу создаёт рельсовый тоннель и колёса.

Вывод однозначен: колёса необходимо закрывать обтекателями.

В моделях № 5 и № 6 учтены результаты предыдущих расчётов, в качестве улучшения аэродинамики изменён переход переднего и заднего обтекателя к днищу (рис. 13, 14) и проведено повторное сравнение влияния хвостового S-образного обтекателя.

Результаты расчётов для модели № 5 и № 6 представлены в табл. 3.

Таблица 3 [выполнена авторами]

| Номер модели | $F_x$ , Н | $C_x$  |
|--------------|-----------|--------|
| № 5          | 273       | 0,0780 |
| № 6          | 278       | 0,0795 |

Расчёт показал положительное влияние плавного перехода от носового и хвостового обтекателей к днищу; из-за отсутствия резкого перехода практически пропали зоны низкого давления, вызывающие срыв потоков с турбулизацией воздуха (рис. 15, 16).

В лобовой части уменьшилась зона высокого давления (рис. 17), снизив составляющую силы сопротивления давления. Следует отметить уменьшение нижнего предела давления, что также положительно сказывается на аэродинамических характеристиках.

Распределение давления в хвостовой части практически одинаково, за исключением донного сопротивления у модели № 6, обусловленного «тупым хвостом» и пересечением двух потоков с боковых поверхностей. В модели № 5 за счёт S-образного хвостовика

Таблица 4 [выполнена авторами]

| Номер модели | $F_x$ , Н | $C_x$  |
|--------------|-----------|--------|
| № 7          | 274       | 0,0782 |
| № 8          | 272       | 0,0778 |



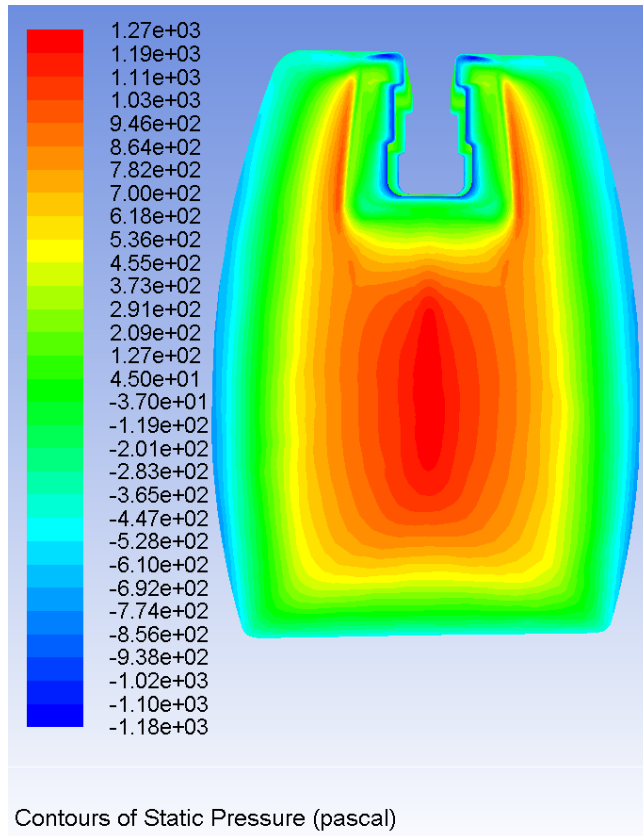


Рис. 17. Распределение давления по лобовой поверхности моделей № 5 и № 6 [выполнено авторами].

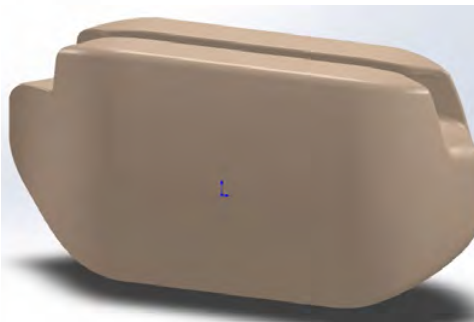


Рис. 18. Модель № 7 [выполнено авторами].



Рис. 19. Модель № 8 [выполнено авторами].

поток не пересекаются, а выходят параллельно, что с учётом симметричности модели создаёт сонаправленные потоки воздуха, движущиеся с одинаковой скоростью, эти приёмы уменьшают, а местами полностью исключают образование вихревых дорожек Кармана.

Модель № 7 представляет собой модель № 5, повернутую на  $180^\circ$  (рис. 18) (определение аэродинамических характеристик при движении задним ходом); в модели № 8 применена комбинация «хвост–хвост» (рис. 19).

Результаты расчётов для модели № 7 и № 8 представлены в табл. 4.

Расчёты показали, что увеличение силы аэродинамического сопротивления при движении задним ходом на данных скоростях составило 0,25 %; можно сказать, что транспортные средства с формой модели № 5 и № 7 способны передвигаться вперёд/назад с одинаковыми аэродинамическими характеристиками на скоростях  $V = 41,7$  м/с.

Расчёт модели № 8 показал незначительное улучшение аэродинамических характеристик (те же 0,25 %), поэтому в следующих

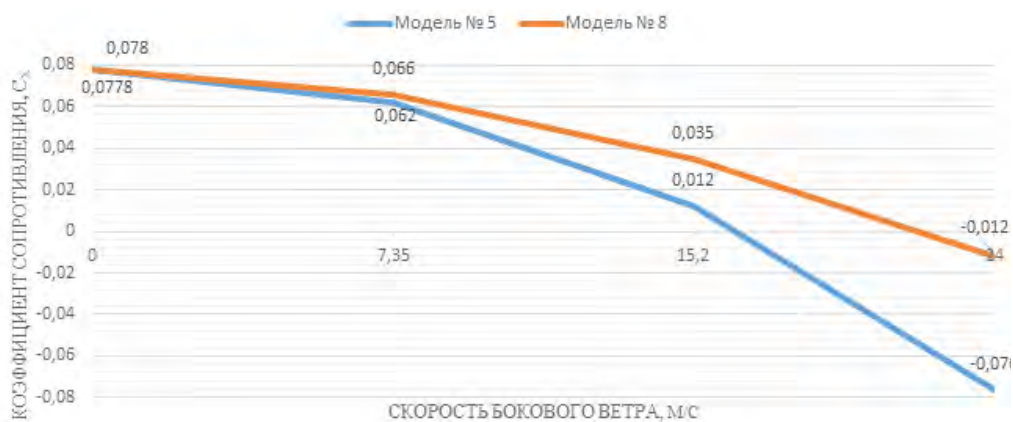


Рис. 20. Зависимости коэффициента сопротивления  $C_x$  от скорости бокового ветра [выполнено авторами].

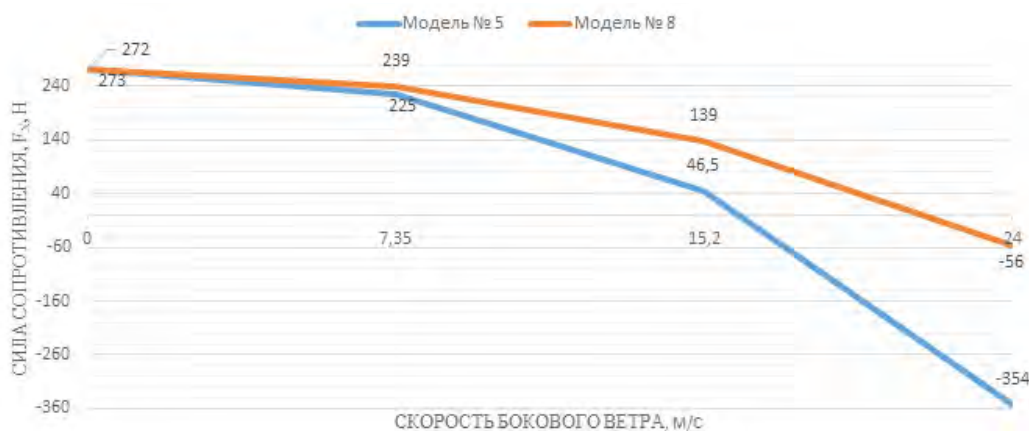


Рис. 21. Зависимости силы сопротивления  $F_x$  от скорости бокового ветра [выполнено авторами].

расчётах с учётом боковых ветров сравнивались формы, показавшие наилучшие результаты, – модели № 5 и № 8.

Для определения характеристик с учётом влияния бокового ветра поворачивалась расчётная зона продувки относительно транспортного средства и системы координат на угол 10, 20 и 30 градусов, что соответствовало скорости бокового ветра 7,35; 15,2 и 24 м/с соответственно. Скорость набегающего потока как равнодействующая величина приня-

ла значения  $V_{10} = 42,34$  м/с,  $V_{20} = 44,37$  м/с и  $V_{30} = 48,15$  м/с.

Как отдельная характеристика, необходимая для определения ветровых нагрузок на путевую структуру, была определена сила и коэффициент сопротивления формы неподвижного транспортного средства при ветре, направленном под углом  $90^\circ$  со скоростью  $V_{90} = 24$  м/с.

Результаты расчётов для модели № 5 и № 8 представлены в табл. 5 и графически на рис. 20 и 21.

Таблица 5 [выполнена авторами]

| Номер модели | Скорость ветра 7,35 м/с, скорость ТС 41,7 м/с |           | Скорость ветра 15,2 м/с, скорость ТС 41,7 м/с |           | Скорость ветра 24 м/с, скорость ТС 41,7 м/с |           | Скорость ветра 24 м/с, скорость ТС 0 м/с |           |
|--------------|-----------------------------------------------|-----------|-----------------------------------------------|-----------|---------------------------------------------|-----------|------------------------------------------|-----------|
|              | $F_{x10}$ , Н                                 | $C_{x10}$ | $F_{x20}$ , Н                                 | $C_{x20}$ | $F_{x30}$ , Н                               | $C_{x30}$ | $F_{90}$ , Н                             | $C_{x90}$ |
| № 5          | 225                                           | 0,062     | 46,5                                          | 0,012     | -354                                        | -0,076    | 2229                                     | 0,652     |
| № 8          | 239                                           | 0,066     | 139                                           | 0,035     | -56                                         | -0,012    | 2430                                     | 0,699     |





Как показали результаты расчёта, модель № 5 за счёт закруглённого переднего обтекателя имеет лучшие характеристики несмотря на более высокие показатели коэффициента и силы сопротивления при нулевом значении скорости бокового ветра. У модели № 8 – плоский лопатообразный нос, который при боковом ветре является своеобразным парусом, ухудшая обтекание набегающими потоками воздуха, и увеличивает силу воздействия ветровых нагрузок на путевую структуру.

Отрицательные значения коэффициента сопротивления  $C_x$  и силы  $F_x$  для неподвижного транспорта связаны с изменением разности зон высокого и низкого давления в передней и задней зонах в принятой системе координат, с геометрическими особенностями формы транспортных средств, что видно по меньшему влиянию у симметричной модели № 8.

## ВЫВОДЫ

В процессе исследования была проведена последовательная оптимизация сложной геометрической формы корпуса монорельсового струнного транспортного средства – юнибус. Расчёты показали важность и влияние геометрии переходных участков корпуса, обязательность применения колёсных обтекателей и преимущества S-образного хвостовика. Все эти факторы с различной степенью влияют на величину суммарного аэродинамического сопротивления движению транспорта. При этом предложенная оптимизация конструкции позволяет на 16,9 % снизить силу и коэффициент аэродинамического сопротивления. По результатам проведённых исследований выбрана оптимальная модель транспортного средства, обладающая наименьшим коэффициентом аэродинамического сопротивления. Это позволило улучшить энергетическую экономичность системы и повысить её экологичность, как следствие – увеличить потенциальную рентабельность перевозочного процесса.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мхитарян А. М. Аэродинамика. – М.: Эколит, 2013. – 448 с. ISBN 978-5-4365-0050-8.
2. Квасновская Н. П., Квасновский А. С. Аэродинамика современных легковых автомобилей // Автотранспортное предприятие. – 2006. – № 3. – С. 51–55.
3. Wilcox, D. C. Turbulence modeling for CFD. 3<sup>rd</sup> ed. DCW industries, 2006, 522 p. ISBN 978-1-928729-08-2 (1-928729-08-8).
4. Белов И. А., Исаев С. А. Моделирование турбулентных течений: Учеб. пособие. – СПб: Балт. гос. техн. ун-т. – 2001. – 108 с.
5. Молчанов А. М. Термофизика и динамика жидкости и газа. – М.: МАИ, 2019. – 152 с. [Электронный ресурс]: <https://k204.ru/downloads/text2019.pdf>. Доступ 24.05.2022.
6. Menter, F. R., Kuntz, M., Langtry, R. Ten Years of Industrial Experience with the SST Turbulence Model. Turbulence, heat and mass transfer, 2003, Vol. 4, No. 1, pp. 625–632. [Электронный ресурс]: [https://www.researchgate.net/publication/228742295\\_Ten\\_years\\_of\\_industrial\\_experience\\_with\\_the\\_SST\\_turbulence\\_model](https://www.researchgate.net/publication/228742295_Ten_years_of_industrial_experience_with_the_SST_turbulence_model). Доступ 24.05.2022.
7. Снегирёв А. Ю. Высокопроизводительные вычисления в технической физике. Численное моделирование турбулентных течений: Учеб. пособие. – СПб.: СПбПУ, 2009. – 143 с. ISBN 978-5-7422-2317-7.
8. Юницкий А. Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе. – Силакрогс: ПНБ-принт, 2019. – 576 с. ISBN 978-985-90498-1-1.
9. Юницкий А. Э., Гарах В. А., Цырлин М. И. Струнный транспорт для городских перевозок пассажиров // Наука и техника транспорта. – 2021. – № 3. – С. 19–25. DOI: 10.53883/20749325\_2021\_03\_19.
10. Пастухов Д. Ф., Волосова Н. К., Пастухов Ю. Ф. Построение нестационарных моделей в оболочке ANSYS FLUENT: Учеб. пособие. – Новополоцк: ПГУ, 2018. – 46 с. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.psu.by/bitstream/123456789/22092/3/Построение%20нестационарных%20моделей%20в%20оболочке%20Fluent%20WORKBENCH.pdf>. Доступ 24.05.2022.
11. Андрейчик А. Ф., Шмелёв А. В., Харитончик С. В. Влияние межзвенного пространства на аэродинамику многозвенного автопоезда // Актуальные вопросы машиноведения. – 2015. – № 4. – С. 121–124. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29305331>. Доступ 24.05.2022.
12. Высоцкий М. С., Евграфов А. Н. Аэродинамика колёсного транспорта. – Минск: Белавтотракторостроение, 2001. – 363 с. ISBN 985-6637-03-1.
13. Патанкар С. В., Сполдинг Д. Б. Тепло- и массообмен в пограничных слоях. – М.: Энергия, 1971. – 128 с.
14. Миньков Л. Л., Моисеева К. М. Численное решение задач гидродинамики с помощью вычислительного пакета Ansys Fluent. – Томск: STT, 2017. – 122 с. ISBN 978-5-93629-594-2. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29806159>. Доступ 24.05.2022. ●

### Информация об авторах:

**Юницкий Анатолий Эдуардович** – председатель совета директоров и генеральный конструктор ЗАО «Струнные технологии», Минск, Беларусь, [a@unitsky.com](mailto:a@unitsky.com).

**Артюшевский Сергей Владимирович** – заместитель генерального конструктора по науке ЗАО «Струнные технологии», Минск, Беларусь, [s.artushevskiy@unitsky.com](mailto:s.artushevskiy@unitsky.com).

**Цырлин Михаил Иосифович** – кандидат технических наук, ведущий специалист научно-исследовательского отдела ЗАО «Струнные технологии», Минск, Беларусь, [m.tsirlin@unitsky.com](mailto:m.tsirlin@unitsky.com).

Статья поступила в редакцию 04.04.2022, одобрена после рецензирования 06.09.2022, принята к публикации 10.09.2022.



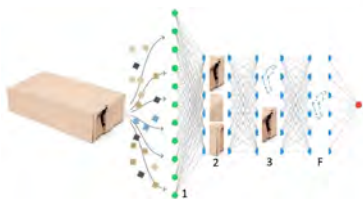
|                                                                                   |                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| Автомобили                                                                        | Автобус                                                                           |
| €12                                                                               | €3,7                                                                              |
| €-цент / пассажиро-километр                                                       | €-цент / пассажиро-километр                                                       |

## ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ 28

Социальные эффекты, сопровождающие развитие, и их монетарная оценка.

## ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТ 39

Оценка пассажиропотоков при помощи Wi-Fi данных.



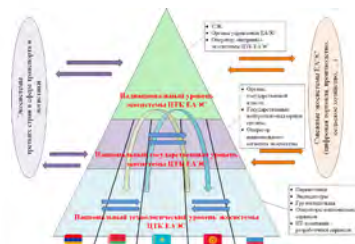
## ЛОГИСТИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ 61

Искусственный интеллект для оценки повреждённых грузов.

## ТРАНСПОРТНЫЕ УЗЛЫ 73

Технологии блокчейн при организации поставок. Опыт КНР и перспективы.

# УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА



## МЕЖДУНАРОДНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ КОРИДОРЫ 86

Цифровые платформы управления перевозками. Экосистема МТК в ЕАЭС.

## ГОРОДСКОЙ ОБЩЕСТВЕННЫЙ АВТОТРАНСПОРТ 98

Выявление и методика оценки факторов, влияющих на качество обслуживания пассажиров.



## ГОРОДСКИЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ 105

Развитие и оптимизация городских маршрутов. Пример Брянска.





# Оценка социальных эффектов, формируемых железнодорожным транспортом



**Илья Васильевич Солнцев**

Финансовый университет при Правительстве РФ, Москва, Россия.

✉ [ilia.solntsev@gmail.com](mailto:ilia.solntsev@gmail.com).

Илья СОЛНЦЕВ

## АННОТАЦИЯ

Эффективность транспортных систем на современном этапе как на национальном уровне, так и в масштабе взаимодействия региональных и межрегиональных торговых и кооперационных связей рассматривается в качестве одного из важнейших факторов успешного и устойчивого экономического развития.

Совершенствование транспортных систем во многих случаях требует реализации крупных инфраструктурных проектов, предполагающих масштабные инвестиции и генерирующих целый ряд экономических и социальных эффектов. И если первым уже посвящён ряд исследований, то социальная сфера пока не получила должного внимания.

В данной работе предпринята попытка устранить этот пробел, а в качестве предмета исследования выбран пассажирский железнодорожный транспорт, динамично развивающийся в целом ряде государств, и которому уделяется большое внимание в стратегических документах, касающихся развития транспортной отрасли в Российской Федерации.

**Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, эффективность железнодорожных проектов, эффекты железнодорожного транспорта, эффект экономии времени, экологические эффекты, экономика транспорта, уровень шума, социальная интеграция, благополучие.

**Источники финансирования:** статья подготовлена в рамках прикладной научно-исследовательской работы «Расширение инструментов повышения социально-экономического уровня развития территорий путём внедрения инфраструктурных проектов развития железнодорожных транспортных узлов», профинансированной за счёт государственного задания Правительства Российской Федерации.

**Для цитирования:** Солнцев И. В. Оценка социальных эффектов, формируемых железнодорожным транспортом // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 4 (101). С. 28–38. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-3>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.  
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

## ВВЕДЕНИЕ

Согласно Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года<sup>1</sup>, железные дороги позволят Российской Федерации, экономике и обществу получить следующие результаты:

- ускорение экономического роста;
- снижение транспортных издержек хозяйствующих субъектов и высвобождение средств для развития других сфер отечественной экономики;
- обеспечение условий для формирования территориальных производственно-научных кластеров;
- нивелирование диспропорций межрегионального развития;
- обеспечение торговых связей между экономическими центрами;
- повышение конкурентоспособности российской экономики и привлекательности страны для развития бизнеса и притока инвестиций;

<sup>1</sup> Стратегия развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 года: утверждена Распоряжением Правительства РФ от 17 июня 2008 г. № 877-р. [Электронный ресурс]: <https://mintrans.gov.ru/documents/7/1010>. Доступ 14.09.2022.

• развитие транспортного машиностроения и других взаимосвязанных отраслей экономики.

Большинство исследований посвящено оценке экономических эффектов железнодорожного транспорта. В частности, можно выделить работы Л. В. Липидус [1], Д. А. Мачерета [2], Центра стратегических разработок [3] и О. Н. Фроловой [4]. Однако, как показывает международный опыт, влияние транспортных инфраструктурных проектов не ограничивается экономикой и затрагивает социальную сферу.

Цель настоящего исследования – выявить эффекты, формируемые проектами по развитию железнодорожного транспорта в экономике и социальной сфере, и предложить подходы к их количественному измерению. В качестве *методов* использованы комплексный подход и эмпирико-теоретические методы, позволяющие провести исследование на основе совокупных характеристик проектов по развитию железнодорожного транспорта. В работе использованы открытые статистические данные, проведён анализ академической литературы и методических материалов,



Рис. 1. Положительные эффекты, формируемые инфраструктурными проектами на железнодорожном транспорте [выполнено автором].

уже разработанных за рубежом и в России, а также нормативных документов, в том числе методики оценки социально-экономических эффектов от проектов строительства транспортной инфраструктуры, утверждённой Постановлением Правительства РФ от 26 ноября 2019 г. № 1512.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Экономические эффекты

Исследования экономических эффектов позволяют оценить долю отдельной отрасли в экономике на определённый момент времени и дают представление об их взаимосвязях. При этом формируемые эффекты подразделяются на прямые и косвенные. Первые измеряются через валовую добавленную стоимость (ВДС), которая представляет собой разницу между стоимостью продукции отрасли и стоимостью ресурсов для её производства. Косвенные эффекты учитывают спрос, который формируется в секторах, производящих ресурсы для железнодорожной отрасли и снабжающих её. Например, железнодорожный оператор может приобрести телекоммуникационное оборудование, что повысит спрос в этой области и, в свою очередь, потребует пластмассы, металлов и других материалов для производства оборудования. При увеличении объёмов перевозок происходит соответствующий рост затрат на промежуточную продукцию (топливо, электроэнергия, материалы и др.), что приводит к росту производства в смежных отраслях. Далее через затраты смежных отраслей происходит рост практически по всей экономике. Увеличение валовых выпусков сопровождаются соответствующим ростом доходов: налогов, зарплат, прибыли, которые перераспределяются и трансформируются в рост конечного спроса государства, бизнеса и населения [5].

В качестве одного из важных направлений влияния нужно выделить рынок недвижимости: строительство новой инфраструктуры может приводить как к падению цен на недвижимость (за счёт увеличения уровня шума, изменения видовых параметров, загрязнения окружающей среды), так и к росту (улучшение транспортной доступности и экономия времени) [6].

Совокупный экономический эффект от инвестиций складывается из приростов валовых выпусков по отраслям экономики на

этапе инвестирования и этапе функционирования и состоит из трёх элементов<sup>2</sup>:

1. Прирост валовой добавленной стоимости отрасли, обеспечивающей выпуск  $i$ -го вида российской продукции.

2. Прирост валовой добавленной стоимости, создаваемой отраслями торговли и транспорта, обеспечивающими поставку  $i$ -го вида продукции.

3. Прирост валовой добавленной стоимости, создаваемой смежными отраслями экономики, обеспечивающими производство  $i$ -го вида российской продукции.

На эксплуатационной стадии к ним добавляется четвёртый элемент:

4. Прирост валовой добавленной стоимости, создаваемой непосредственным участником инфраструктурного проекта на эксплуатационной стадии, который рассчитывается через суммарный прирост выручки непосредственного участника инфраструктурного проекта от реализации товаров, работ, услуг  $i$ -го вида.

### Социальные эффекты

Несмотря на важность оценки экономических эффектов, нельзя игнорировать влияние железнодорожных проектов на социальную сферу. Это влияние может носить как негативный, так и позитивный характер. Как правило, любые транспортные проекты ассоциируются со следующим отрицательным воздействием:

- несчастные случаи;
- загрязнение окружающей среды;
- изменение климата;
- увеличение уровня шума;
- рост затраты на производство энергии;
- негативное влияние на природу и ландшафт.

Однако при альтернативном выборе различные проекты (виды транспорта) могут оказывать и положительное влияние (рис. 1):

- экономия времени в пути пассажиров и грузов;
- повышение безопасности перевозок пассажиров и грузов;

<sup>2</sup> Методика оценки социально-экономических эффектов от проектов строительства (реконструкции) и эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры, планируемых к реализации с привлечением средств федерального бюджета, а также с предоставлением государственных гарантий Российской Федерации и налоговых льгот: утверждена Постановлением Правительства РФ от 26 ноября 2019 г. № 1512.

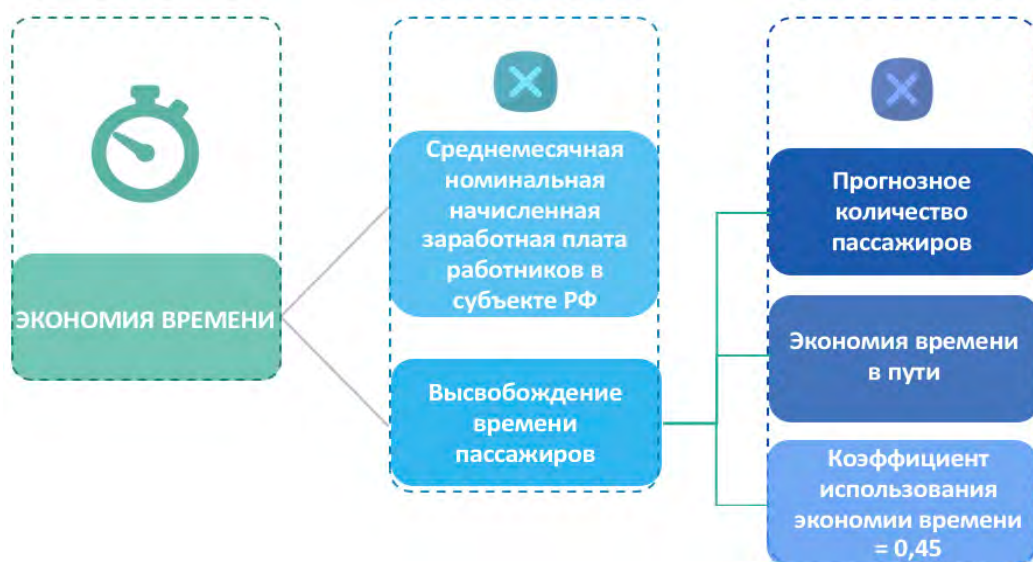


Рис. 2. Расчёт монетизированного эффекта экономии времени в пути пассажиров [выполнено автором].

- снижение выбросов вредных веществ и уровня шума (при выборе альтернативных вариантов);

- полезные эффекты общественного транспорта, обусловленные увеличением физической активности;

- социальная интеграция и безбарьерная среда;

- субъективное благополучие (subjective wellbeing) – восприятие окружающего мира или уровень счастья.

Итоговый эффект от реализации проекта может быть получен путём сопоставления потенциальных выгод и затрат, в том числе через сравнение различных альтернатив.

Монетарная оценка последних четырёх эффектов осложняется нематериальным характером и не предусмотрена Методикой, утверждённой Постановлением Правительства РФ от 26.11.2019 г. № 1512.

### Экономия времени<sup>3</sup>

Надёжное и быстрое сообщение (а, следовательно, – и высокую доступность) в крупных городах с населением более 250 тыс. чел. может обеспечить только общественный транспорт, развитие которого должно быть ориентировано на достижение следующих потребительских свойств [5]:

<sup>3</sup> При оценке нужно учитывать вид железнодорожного сообщения, в данном исследовании рассматриваются исключительно пассажирские перевозки.

- надёжность (гарантированная доля поездов в соответствии с плановым временем ожидания и поездки);

- доступность (географическая и ценовая);

- комфорт.

В расчёте социально-экономических эффектов от реализации проектов развития систем городского общественного транспорта используются количественно-измеримые показатели, напрямую связанные с проектами. В первую очередь к таким параметрам относится экономия времени пассажиров. Данный эффект формируется следующими элементами (рис. 2):

- высвобождение времени пассажиров при реализации инфраструктурного проекта – оценивается в зависимости от региона и маршрута;

- среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников в субъекте Российской Федерации, на территории которого реализуется инфраструктурный проект.

Таким образом, по оцениваемому железнодорожному проекту может быть оценена экономия времени пассажиров, привлекаемых с автомобильного и с городского пассажирского транспорта (метрополитен, наземный городской транспорт и междугородний пассажирский автотранспорт). Количественная оценка эффектов экономии времени зависит от ряда факторов:

- пункты отправления и назначения;
- время суток, когда совершаются поездки;



- пропускная способность и схема дорожной сети;
- расположение вокзалов;
- периодичность железнодорожных перевозок;
- доступные альтернативные виды транспорта: автобусы, пешие и велосипедные маршруты;

Данные факторы различаются от города к городу и меняются со временем. Как правило, эффекты экономии времени оцениваются с помощью моделей, имитирующих транспортную сеть и её использование в конкретном городе или местности. Согласно исследованию Deloitte [7], в Австралии каждая автомобильная поездка, заменяемая железнодорожной, сокращает время в пути для остальных участников дорожного движения примерно на 7–27 минут. Например, для Сиднея это означает следующее: если все поездки одного человека на работу и с работы перенести с автомобиля на железную дорогу, экономия времени для других участников дорожного движения в год составит 3 дня и 18 часов; для 1000 человек – 10 лет и 3 месяцев.

Альтернативные затраты времени в пути (которое в противном случае можно было бы использовать для других целей) также могут быть оценены. В Австралии время деловых поездок оценивается в 129,8 % среднего еженедельного дохода (AWE), а время в пути на работу и с работы, а также всех остальных поездок – в 40 %. Предполагая, что 10 % поездок совершаются с деловыми целями, средневзвешенная стоимость сэкономленного времени на одну поездку оценивается в 20 долларов (частные поездки – 16,32, деловые – 52,96).

Монетизированный эффект экономии времени в пути экономически активного населения рассчитывается как сумма дисконтированных значений экономии времени. В качестве ставки дисконтирования может быть использована средняя ставка купонного дохода по облигациям региона, где реализуется проект.

Также нужно учитывать, что автомобильные заторы увеличивают потребление топлива и, как следствие, приводят к загрязнению воздуха и выбросам парниковых газов, что влечёт дополнительные расходы для общества в целом. Более подробно экологические эффекты будут рассмотрены в отдельном разделе.

## Повышение безопасности

Несчастные случаи происходят на всех видах транспорта и приводят к значительным расходам, которые делятся на пять основных компонентов:

- Оценка боли и страданий, вызванных дорожными происшествиями. В случае травм эти затраты покрывают боль и страдания жертвы, а в случае смертельных исходов – потерю полезности жертвы.

- Медицинские расходы: расходы на лечение потерпевших, включая стоимость оборудования и лекарств. Медицинские расходы покрывают период времени с момента несчастного случая до полного выздоровления от травмы или, в случае несчастного случая со смертельным исходом, до смерти. Во многих случаях часть этих затрат уже учтена в страховых выплатах.

- Административные расходы: расходы, покрывающие расходы полиции, МЧС и других служб экстренной помощи (кроме медицины), оказывающих помощь на месте аварии. Кроме того, в эту категорию включаются расходы, связанные с правосудием: судебные издержки, расходы на судебное преследование правонарушителей, расходы на судебные процессы и страхование. Наконец, в эту категорию также включаются административные расходы, связанные со страхованием транспортного средства или здоровья.

- Производственные потери: после аварии, пострадавшие не могут сразу вернуться к работе (либо уже никогда к ней не возвращаются). Эти затраты состоят из чистых производственных потерь, вызванных сокращением рабочего времени и затрат на замещение человеческого капитала. Неспособность выполнять «нерыночную» работу, такую как работа по дому или волонтерство, также включается в этот компонент затрат.

- Материальный ущерб состоит из денежной стоимости повреждений транспортных средств, инфраструктуры, грузов и личного имущества в результате несчастных случаев. Предполагается, что этот компонент полностью учитывается участниками дорожного движения посредством страхования.

- Прочие расходы: эта категория покрывает расходы, связанные с заторами, возникшими в результате дорожно-транспортных происшествий, недоступностью транспортных средств и организацией похорон. В ев-

Таблица 1

Поправочные коэффициенты для учёта незарегистрированных ДТП

|                      | Смертельные случаи | Тяжёлые травмы | Лёгкие повреждения |
|----------------------|--------------------|----------------|--------------------|
| Автомобили, автобусы | 1                  | 1,25           | 2                  |
| Мотоциклы            | 1                  | 1,55           | 3,2                |

Источники: [8; 9].



Рис. 3. Расчёт монетизированного эффекта экономии времени в пути пассажиров [выполнено автором].

ропейской практике эта категория затрат не учитывается, поскольку большая их часть включается в другие категории внешних затрат, либо вообще не относится к внешним.

Затраты, связанные с предотвращением аварий, не включаются в стоимость несчастных случаев, поскольку они не являются (прямым) следствием дорожно-транспортных происшествий, а предназначены для уменьшения количества аварий. Кроме того, они (частично) включены в расходы на дорожную инфраструктуру.

Стоит отметить, что количество погибших и раненых в официальной статистике отражает только зарегистрированные несчастные случаи. Однако часть дорожно-транспортных происшествий не регистрируется. В европейской практике официальные данные о дорожно-транспортных происшествиях корректируются с учётом этих незарегистрированных происшествий. Применяемые поправочные коэффициенты представлены в табл. 1.

Согласно Методике, утверждённой Правительством РФ, оценка потерь в результате дорожно-транспортных происшествий базируется на следующих параметрах (рис. 3):

- среднегодовая суточная интенсивность движения, пассажиров/сутки;

- коэффициент смещения пассажиропотока с существующего на предполагаемый маршрут движения при реализации инфраструктурного проекта;

- средний социально-экономический ущерб от гибели и ранения в результате дорожно-транспортного происшествия;

- количество погибших и раненых в дорожно-транспортных происшествиях на 1 млн пассажиров в год.

Ключевой переменной в данном случае является коэффициент смещения пассажиропотока с существующего на предполагаемый маршрут движения. Сокращение времени в пути и повышение сервиса при использовании железнодорожного транспорта оказывают значительное влияние на привлечение дополнительного пассажиропотока, ранее иммобильного населения, а также увеличение подвижности существующего и перспективного населения, тяготеющего к железнодорожным линиям.

### Экологические эффекты

В части экологии можно выделить несколько направлений влияния:

1. Выбросы в атмосферу.
2. Уровень шума.
3. Затраты на производство энергии.
4. Влияние на природу и ландшафт.



Затраты, связанные с загрязнением воздуха

| Вид транспорта                | €-цент / пассажирокилометр | €-цент / машинокилометр |
|-------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| Автомобиль                    | 0,71                       | 1,14                    |
| – бензиновый двигатель        | 0,33                       | 0,53                    |
| – дизельный двигатель         | 1,18                       | 1,9                     |
| Мотоцикл                      | 1,12                       | 1,17                    |
| Автобус                       | 0,76                       | 14,19                   |
| Междугородний автобус         | 0,73                       | 14,34                   |
| Скоростной пассажирский поезд | 0,002                      | 0,66                    |
| Пассажирский электропоезд     | 0,01                       | 1,14                    |

Источник: [10, с. 50].

*Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу* могут привести к нескольким типам ущерба [10]:

- Воздействие на здоровье: вдыхание загрязнителей воздуха, таких как частицы PM10, PM2,5 и оксиды азота ( $NO_x$ ) повышают риск респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний (например, бронхита, астмы, рака лёгких). Эти негативные последствия для здоровья приводят к расходам на лечение, производственным потерям на работе и, в некоторых случаях, к смерти.

- Потери урожая: озон как вторичный загрязнитель воздуха и другие кислотные загрязнители воздуха (например,  $SO_2$ ,  $NO_x$ ) могут наносить ущерб сельскохозяйственным культурам, в том числе приводить к снижению урожайности (например, пшеницы).

- Материальный ущерб и ущерб зданиям: загрязнители воздуха могут привести к: а) загрязнению поверхностей зданий; б) повреждению фасадов зданий и материалов из-за процессов коррозии, вызванных кислотными веществами (например, оксидами азота  $NO_x$  или оксида серы  $SO_2$ ).

- Утрата биоразнообразия: загрязнители воздуха могут нанести ущерб экосистеме – а) окисление почвы, осадков и воды (например,  $NO_x$ ,  $SO_2$ ) и б) загрязнение водоёмов водорослями (например,  $NO_x$ ,  $NH_3$ ).

Различные виды транспорта характеризуются разным уровнем вредных выбросов. Как видно из табл. 2, с точки зрения экологии железные дороги обладают явным преимуществом.

*Шумовое излучение* от транспорта представляет собой растущую экологическую проблему из-за сочетания тенденции к большей урбанизации и увеличения объёмов движения. В то время как увеличение интенсивности движения приводит к более высокому уровню шума, рост урбанизации приво-

дит к тому, что большее количество людей испытывает дискомфорт из-за шума. В будущем негативные эффекты от дорожного шума могут вырасти, несмотря на потенциальные улучшения в области соответствующих характеристик транспортных средств. В целом шум можно определить как нежелательные звуки различной продолжительности и интенсивности, которые причиняют физический или психологический вред человеку.

Уровень шума измеряется в децибелах (дБ). В пределах человеческого диапазона слышимости глубокие и очень высокие тона с одинаковой интенсивностью воспринимаются как менее шумные. Уменьшение или увеличение объёма трафика в два раза приводит к изменению уровня шума на 3 дБ, независимо от текущего потока. То есть, увеличение объёма движения с 50 до 100 автомобилей приводит к тому же увеличению уровня шума, что и увеличение с 500 до 1000 автомобилей. Важным аспектом является время суток, когда возникает шум. Предполагается, что вечерний и ночной шум доставляет больше неудобств, чем дневной [11].

Пороги, выше которых шум считается помехой, в некоторой степени произвольны, наиболее часто используются значения 50, 55 и 60 дБ. При этом выбор порога оказывает существенное влияние на оценку предельных затрат. Согласно данным сразу нескольких исследований, шум от железнодорожного транспорта воспринимается как меньшее неудобство, в сравнении с шумом автомобильной дороги. Поэтому в определении порога железнодорожному транспорту может быть предоставлена «скидка» в 5 дБ. Однако в европейской практике такой подход не применяется [10].

Воздействие шума оказывает негативное влияние на здоровье и может приводить к развитию следующих заболеваний [11; 12]:

Таблица 3

Затраты, связанные с шумом для различных видов транспорта

| Вид транспорта                | €-цент / пассажирокилометр | €-цент / машинокилометр |
|-------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| Автомобиль                    | 0,6                        | 0,9                     |
| – бензиновый двигатель        | 0,5                        | 0,8                     |
| – дизельный двигатель         | 0,6                        | 0,9                     |
| Мотоцикл                      | 9                          | 9,4                     |
| Автобус                       | 0,4                        | 8                       |
| Междугородний автобус         | 0,2                        | 4,7                     |
| Скоростной пассажирский поезд | 0,3                        | 97                      |
| Пассажирский электропоезд     | 0,8                        | 106                     |

Источник: [10, с. 81].

ишемическая болезнь сердца; инсульт; слабоумие; гипертония; раздражение.

Раздражение представляет собой беспокойство, которое испытывают люди, когда они подвергаются транспортному шуму. Оно может мешать выполнять определённые действия, что может приводить к различным негативным реакциям, включая разочарование, беспокойство, истощение и нарушение сна [12]. Однако раздражение измеряется иначе, чем другие «классические» воздействия на здоровье, и поэтому рассматривается отдельно. Дополнительно могут возникать следующие негативные эффекты: потеря производительности (например, из-за потери концентрации), воздействие транспортного шума на окружающую среду (например, вредное воздействие на дикую природу), прямые материальные убытки в результате вибраций.

Чтобы иметь возможность отнести общие затраты, связанные с шумом, к каждому виду транспорта, необходимо знать общее количество километров, пройденных каждым классом транспортных средств. Однако шум, исходящий от некоторых типов транспортных средств (например, грузовиков), считается более неприятным, чем шум от других (например, легковых автомобилей).

Помимо прямых внешних эффектов, формируемых транспортом, существует целый ряд косвенных затрат на *производство энергии*. Производство транспортных средств и строительство инфраструктуры, техническое обслуживание и утилизация – всё это ведёт к выбросам загрязнителей воздуха, парниковых газов, токсичных веществ и другим негативным воздействиям на окружающую среду. Безусловно, наиболее значимыми последствиями являются выбросы, связанные с производством энергии: добыча источников энергии, обработка (например, переработка

или производство электроэнергии), транспортировка и передача, строительство соответствующей инфраструктуры. Эффект производства энергии очень важен в первую очередь для видов транспорта с электроприводом, поскольку при её использовании практически отсутствуют выбросы.

Существует два типа входных значений для расчёта стоимости затрат на производство энергии: выбросы вредных веществ и ущерб от монетизации выбросов. Первые включают выбросы парниковых газов и загрязнителей воздуха, вырабатываемых в процессе производства энергии. Затраты на монетизацию выбросов состоят из затрат на загрязнение воздуха и затрат на изменение климата.

*Негативные воздействия транспорта на природу и ландшафт* можно описать следующим образом:

- Утрата среды обитания: для транспортной инфраструктуры требуются земля и/или естественные поверхности. Следовательно, транспортная инфраструктура приводит к утрате естественных экосистем, которые являются естественной средой обитания растений и животных. Утрата среды обитания происходит на этапе строительства транспортной инфраструктуры, но будет продолжаться в течение всего срока службы инфраструктуры.

- Фрагментация среды обитания: транспортная инфраструктура также может иметь дополнительные эффекты фрагментации и разделения для животных. Эти эффекты фрагментации могут негативно повлиять на естественную среду обитания определённых видов и привести к неблагоприятным последствиям для них. Фрагментация среды обитания отрицательно сказывается на крупных диких млекопитающих, таких как олени, кролики, барсуки и т.д., а также на более мелких животных, таких как амфибии.



- Ухудшение среды обитания из-за выбросов: деградация среды обитания также может происходить из-за выброса в атмосферу других токсичных веществ (например, тяжёлых металлов).

### Эффекты для здоровья

Использование общественного транспорта может оказывать положительное воздействие на здоровье граждан за счёт дополнительной физической активности, необходимой для того, чтобы добраться до остановки общественного транспорта и затем до конечного пункта назначения. Например, используя данные австралийских пассажиров общественного транспорта, Ванг и др. [13] обнаружили, что доступность общественного транспорта положительно коррелировала с рекомендованными уровнями ходьбы. Польза для здоровья, связанная с физической активностью, как правило, заключается в снижении риска сердечно-сосудистых заболеваний, диабета 2 типа, некоторых видов рака и остеопороза. Другие преимущества для здоровья включают снижение ожирения, высокого кровяного давления и высокого уровня холестерина, а также пользу для психического здоровья.

По данным Deloitte [7], пешие прогулки формируют выгоду в диапазоне от 0,41 до 2,29 доллара за километр (в ценах 2015–2016 гг.). Совет по транспорту и инфраструктуре Австралии на основании исследования готовности платить определил это значение в 2,93 доллара за километр (в ценах 2015–2016 гг.). Эта стоимость отражает то значение, которое люди готовы платить за снижение заболеваемости и смертности.

Основная сложность заключается в количественном определении общего годового расстояния, пройденного пользователями поездов. Например, в Сиднее они прошли 301 млн километров в 2016 году, что принесло пользу здоровью на 881 млн долларов или 6,62 доллара на каждого пассажира поезда.

### Социальная интеграция

Транспортная инфраструктура имеет основополагающее значение для обеспечения социальной интеграции за счёт снижения барьеров, затрудняющих полноценное участие людей в жизни общества. Мобильность является ключевым аспектом социальной интеграции и характеризует возможность доступа к работе, образованию, медицинско-

му обслуживанию, магазинам, другим общественным услугам и участию в социальной деятельности.

По сравнению с индивидуальным автомобилем или мотоциклом, которые требуют больших затрат, связанных с владением транспортным средством, регистрацией, страхованием, и который недоступен для очень молодых и пожилых людей, железнодорожный транспорт выгодно отличается. Министерство транспорта Великобритании определяет следующие основные группы, потенциально получающие выгоду от местного общественного транспорта [14]:

- люди с низкими доходами и безработные, в том числе лица, работающие неполный рабочий день, и лица, претендующие на государственные пособия;
- люди, живущие в отдалённых (сельских) районах;
- инвалиды, в том числе люди с ограниченными физическими возможностями, сенсорными нарушениями и люди с психическими расстройствами;
- пожилые люди;
- молодёжь и дети.

Монетарная оценка социальной интеграции чаще всего проводится с использованием методики готовности платить. Stanley и др. [15] провели серию личных интервью в Мельбурне с 443 взрослыми. Результаты опроса показали, что люди с повышенным риском социальной изоляции совершают меньше поездок в день. При среднем уровне дохода домохозяйства готовность платить за дополнительную поездку составляет до 20 долларов (в приведённых ценах 2010 года). Эта оценка снижается по мере увеличения дохода, так как люди с более высокими доходами, как правило, совершают большее количество поездок.

### Восприятие мира и уровень счастья

Исследование так называемого «wellbeing» как правило строится на опросах населения и готовности граждан платить за те или иные улучшения, в том числе и на транспорте.

Так, Prud'homme и др. [16] разработали кривую затрат перегруженности общественного транспорта для парижского метро на основе данных за 2009 год. Расчётная готовность платить за свободный проезд (без перегруженности) оказалась равной 1,43 евро за поездку.



| Эффекты              |     |     |      |
|----------------------|-----|-----|------|
| ДТП                  | 4,5 | 1   | 0,5  |
| Загрязнение воздуха  | 0,7 | 0,8 | 0,01 |
| Изменение климата    | 1,2 | 0,5 | 0    |
| Уровень шума         | 0,6 | 0,4 | 0,8  |
| Заторы               | 4,2 | 0,8 | 0    |
| Производство энергии | 0,4 | 0,2 | 0,8  |
| Природа и ландшафт   | 0,5 | 0,1 | 0,6  |

Рис. 4. Оценка негативных эффектов от инфраструктурных проектов в сфере пассажирского транспорта в Европе, 2016 [10, с. 160].

Исследование Clark и др. [17] показало, что увеличение времени поездки в одну сторону на 10 минут оказывает такое же влияние на удовлетворённость работой, как снижение валового личного дохода на 19 %. Это соответствует сокращению на 4080 фунтов стерлингов валового годового личного дохода для работника, зарабатывающего в среднем 21 600 фунтов стерлингов.

По данным Wu [18], улучшение доступа к железной дороге в среднем оценивается в 528 юаней (1 доллар США был равен 6,5 юаней при соотношении на дату написания статьи) в месяц. Это означает, что улучшение уровня благополучия благодаря транспортной доступности можно оценить в 8,1 % от среднемесячного дохода домохозяйства. При этом субъективные выгоды для благосостояния (subjective wellbeing) от улучшения доступности транспорта значительно различаются в зависимости от уровня доходов населения и городских районов. Например, средний показатель благосостояния для домохозяйств с 20 % дохода составляет около 163 юаней в месяц по сравнению с 898 юанями для домохозяйств с 80 % дохода.

## ВЫВОДЫ

Итак, в данной работе были рассмотрены социальные эффекты, формируемые железнодорожным транспортом. Несмотря на то, что на первоначальном этапе любые транспортные проекты воспринимаются негативно (вред для экологии, увеличение уровня шума и т.д.), глубокий сравнительный анализ показывает превосходство железнодорожных перевозок по целому ряду параметров (рис. 4). Данные Deloitte [7] подтверждают превосходство железнодорожного транспорта в части формируемых эффектов:

- каждый километр, пройденный на автомобиле или мотоцикле, а не по железной дороге, приводит к выбросу дополнительных 0,05 кг эквивалента CO<sub>2</sub>;

- при стоимости одной тонны эквивалента CO<sub>2</sub> 59,53 долларов США каждый километр пути, пройденный на железной дороге вместо автомобиля, позволяет сэкономить на выбросах 0,27 цента;

- стоимость аварий на автомобильном транспорте (долларов за км) – 0,1062, на железнодорожном – 0,0139, то есть, автомобильный транспорт генерирует почти в восемь раз больше затрат на дорожно-транспортные



происшествия на километр пути, чем железнодорожный; каждая поездка по железной дороге, заменяющая поездку на автомобиле, снижает расходы на несчастные случаи примерно на 1,40 доллара. Стоимость одной смертельной аварии (value of statistical life) – 8,8 млн долл.

Выявленные в работе эффекты должны приниматься во внимание частными инвесторами и государством при выборе и утверждении проектов, а также при принятии решений о финансировании, что в итоге позволит повысить эффективность и сэкономить бюджетные ресурсы. Дальнейшие исследования в этой области могут быть направлены на разработку подходов к количественной и монетарной оценке данных эффектов с учётом страновой и региональной специфики.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лапидус Л. В. Социально-экономические эффекты высокоскоростного железнодорожного сообщения // Экономика железных дорог. – 2013. – № 12. – С. 58–63. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20725623>. Доступ 14.09.2022.
2. Мачерет Д. А., Разуваев А. Д. Экономические аспекты развития высокоскоростной транспортной инфраструктуры // Экономика железных дорог. – 2018. – № 6. – С. 48–57. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35103887>. Доступ 14.09.2022.
3. Оценка крупных инфраструктурных проектов. Задачи и решения. – М.: Фонд «Центр стратегических разработок», 2013. – 108 с. [Электронный ресурс]: <https://www.rzd.ru/api/media/resources/c/1/121/71717?action=download>. Доступ 14.09.2022.
4. Фролова О. Н. Макроэкономический подход к обоснованию транспортных проектов // Мир транспорта. – 2017. – Т. 15. – № 5. – С. 118–129. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1309/0>. Доступ 14.09.2022.
5. Центр экономики инфраструктуры. Транспортная инфраструктура и экономический рост. – М.: Издательство Перо, 2019. – 142 с. ISBN 978-5-00150-604-1. [Электронный ресурс]: <https://ecfor.ru/publication/transportnaya-infrastruktura-i-ekonomicheskij-rost/>. Доступ 14.09.2022.
6. D'Acci, L. Monetary, Subjective and Quantitative Approaches to Assess Urban Quality of Life and Pleasantness in Cities (Hedonic Price, Willingness-to-Pay, Positional Value, Life Satisfaction, Isobenefit Lines), 2013, pp. 1–28. DOI: 10.1007/s11205-012-0221-7.
7. Deloitte Access Economics. Value of Rail: The contribution of rail in Australia. A report commissioned by the Australasian Railway Association (ARA), 2017, 80 p. [Электронный ресурс]: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/au/Documents/Economics/deloitte-au-economics-value-rail-contribution-australia-161117.pdf>. Доступ 14.09.2022.

8. Bickel, P., Friedrich, R., Burgess, A. [et al]. Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment (HEATCO), Deliverable D5: Proposal for Harmonised Guidelines–Stuttgart. IER, Germany, Stuttgart, 2006a. [Электронный ресурс]: [https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/20130122\\_113653\\_88902\\_HEATCO\\_D5\\_summary.pdf](https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/20130122_113653_88902_HEATCO_D5_summary.pdf). Доступ 14.09.2022.

9. Bickel, P., Arampatzis, G., Burgess, A. [et al]. Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment (HEATCO) Deliverable D7: Case Study Results Stuttgart, IER, University of Stuttgart, 2006. [Электронный ресурс]: [https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/20090918\\_161442\\_29356\\_HEATCO%20-%20Final%20Report.pdf](https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/20090918_161442_29356_HEATCO%20-%20Final%20Report.pdf). Доступ 14.09.2022.

10. Handbook on the external costs of transport. European Commission, Version 2019. [Электронный ресурс]: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/9781f65f-8448-11ea-bf12-01aa75ed71a1/language-en>. Доступ 26.09.2022.

11. Environmental Noise: Valuing impacts on: sleep disturbance, annoyance, hypertension, productivity and quiet. London, Defra, 2014, 57 p. [Электронный ресурс]: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/380852/environmental-noise-valuing-impacts-PB14227.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/380852/environmental-noise-valuing-impacts-PB14227.pdf). Доступ 14.09.2022.

12. Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe. WHO European Centre for Environment and Health, Copenhagen, 2011, 128 p. [Электронный ресурс]: <https://docs.wind-watch.org/WHO-burden-of-disease-from-environmental-noise-2011.pdf>. Доступ 14.09.2022.

13. Barr, A., Bentley, R., Simpson, J. A., Scheurer, J., Owen, N., Dunstan, D., Thornton, L., Krnjacki, L., Kavanagh, A. Associations of public transport accessibility with walking, obesity, metabolic syndrome and diabetes. Journal of Transport & Health, 2016, Vol. 3, Iss. 2, pp. 141–153. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jth.2016.01.006>.

14. Valuing the social impacts of public transport. Final report. Department of Transport, 2013, 153 p. [Электронный ресурс]: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/226802/final-report.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/226802/final-report.pdf). Доступ 14.09.2022.

15. Stanley, J., Hensher, D., Stanley, J., Currie, G., Greene, W., Vella-Brodrick, D. Social Exclusion and the Value of Mobility. Journal of Transport Economics and Policy (JTEP), 2011, Vol. 45, Iss. 2, pp. 197–222 (26). [Электронный ресурс]: [https://www.researchgate.net/profile/Dianne-Vella-Brodrick/publication/233635852\\_Social\\_Exclusion\\_and\\_the\\_Value\\_of\\_Mobility/links/5420059e0cf203f155c29a18/Social-Exclusion-and-the-Value-of-Mobility.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Dianne-Vella-Brodrick/publication/233635852_Social_Exclusion_and_the_Value_of_Mobility/links/5420059e0cf203f155c29a18/Social-Exclusion-and-the-Value-of-Mobility.pdf). Доступ 14.09.2022.

16. Prud'homme, R., Koning, M., Lenormand, L., Fehr, A. Public transport congestion costs: The case of the Paris subway. Transport Policy, 2012, Vol. 21, pp. 101–109. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2011.11.002>.

17. Clark, B., Chatterjee, K., Martin, A., Davis, A. How commuting affects subjective wellbeing. Transportation, 2019, Vol. 47. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11116-019-09983-9>.

18. Wu, Wenjie. Rail access and subjective well-being: Evidence from quality of life surveys. Journal of Comparative Economics, May 2015, Vol. 43, Iss. 2, pp. 456–470. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jce.2014.03.009>. ●

## Информация об авторе:

**Солнцев Илья Васильевич** – доктор экономических наук, главный научный сотрудник Департамента менеджмента и инноваций Финансового университета при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия, [ilia.solntsev@gmail.com](mailto:ilia.solntsev@gmail.com).

Статья поступила в редакцию 02.08.2022, одобрена после рецензирования 14.09.2022, принята к публикации 16.09.2022.



# Выборочное обследование пассажиропотока методом анализа Wi-Fi данных в московском транспортном узле. Часть 2



*Николай Юрьевич Алексеев*  
*АО Ситроникс, Москва, Россия.*  
✉ [alekseev-trn@mail.ru](mailto:alekseev-trn@mail.ru)

Николай АЛЕКСЕЕВ

## АННОТАЦИЯ

В современных, быстро развивающихся городах мира для построения транспортной модели городов требуются данные о пассажиропотоках. Отсутствие таких данных не позволяет своевременно принимать управленческие решения на уровне их распределения, в том числе в рамках общих транспортных потоков.

На данный момент существуют различные методы и системы для подсчёта пассажиропотоков, такие как глазомерный, анкетный и талонный методы и различные автоматизированные системы. Однако известные методы имеют свои недостатки.

По этой причине актуальной является задача поиска альтернативных методов и источников данных для исследования пассажиропотоков.

Данная статья опирается на актуализированные результаты исследования, проведённого в рамках подготовки автором магистерской диссертации. В его процессе и в развитие более ранних работ автора, в качестве источника данных были выбраны данные о подключении пассажиров к Wi-Fi роутерам. Так как на данном этапе исследование проводилось на территории Московского транспортного

узла, в метрополитене и на Московском центральном диаметре, в вагонах которых установлено огромное количество Wi-Fi роутеров, при подключении к которым можно бесплатно получить доступ в Интернет, это значительно расширяет выборку Wi-Fi данных.

Целью данного исследования является изучение возможностей обработки Wi-Fi данных, полученных от Wi-Fi сканеров, в качестве инструмента анализа пассажиропотоков.

По результатам проведённого исследования было определено, что в среднем до 40 % пассажиров, находящихся в вагонах метрополитена и МЦД на обследованных линиях поездов, используют включённый Wi-Fi модуль в своём мобильном устройстве.

Результаты исследования подтвердили, что Wi-Fi данные могут быть использованы в качестве инструмента для анализа пассажиропотоков, но в то же время выявили необходимость сочетать их с другими источниками данных, также показали сильную зависимость результатов обработки Wi-Fi от технических характеристик Wi-Fi сканера и его расположения в транспортном средстве при проведении замеров.

В данном номере публикуется вторая часть статьи.

**Ключевые слова:** транспорт, городской общественный транспорт, метро, городская железная дорога, пассажиропоток, анализ данных, Wi-Fi аналитика.

**Благодарности:** автор выражает искреннюю признательность кандидату географических наук, старшему научному сотруднику Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ) Павлу Владимировичу Зюзину за его неоценимую помощь при проведении исследования и подготовке к публикации его результатов.

**Для цитирования:** Алексеев Н. Ю. Выборочное обследование пассажиропотока методом анализа Wi-Fi данных в московском транспортном узле. Часть 2 // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 4 (101). С. 39–60. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-4>.

**Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.**  
**The full text of the article in English is published in the second part of the issue.**

## Мировой опыт в области Wi-Fi аналитики

Учитывая растущее количество Wi-Fi устройств и Wi-Fi оборудования на территории Московской агломерации, необходимо решить задачу систематизации существующих методов сбора данных в области Wi-Fi аналитики.

### Кейс Гонконгского политехнического университета

Одним из кейсов может быть пример Гонконгского политехнического университета (PolyU). Эмпирические данные были собраны автором в период учебной стажировки в период с августа по ноябрь 2018 года.

На территории университета было расположено двенадцать Wi-Fi/Bluetooth сканеров, предназначенных для мониторинга пешеходных потоков. Также помимо установленных стационарных Wi-Fi/Bluetooth сканеров были установлены видеокамеры. Для исследования были предоставлены доступы ко всем двенадцати Wi-Fi сканерам, а именно, к ежедневной выгрузке Wi-Fi и видеоданных.

Основная задача заключалась в исследовании пешеходных потоков до строительства пешеходного моста и после его строительства. На момент проведения исследования между основными зданиями университета и административным корпусом находился подземный пешеходный переход под автомобильной дорогой. Пешеходный мост стал бы альтернативным способом перемещения между основными зданиями и административным корпусом.

Суть исследования заключалась в обработке так называемых MAC-адресов. MAC-адрес, как известно, – это шестизначный код устройства (AA: BB: CC: DD: EE: FF), присваиваемый производителем данного устройства. Каждый производитель оборудования, который производит продукцию, предназначенную для использования в сети Интернет, присваивает уникальный MAC-адрес каждому выпущенному устройству. У каждого производителя существует разное количество MAC-адресов. По первым трём значениям любого MAC-адреса (AA: BB: CC: \_\_: \_\_: \_\_) можно определить производителя оборудования. Следующие три значения (\_\_: \_\_: \_\_: DD: EE: FF) очень разнообразны и уникальны для каждого устройства.

Первые два месяца исследования были посвящены анализу и обработке Wi-Fi данных. Для утверждения, что полученный MAC-адрес принадлежит к конкретному устройству, а конкретное устройство, соответственно, находится у потенциального пешехода, изучались временные отрезки и проводилось их сопоставление с данными видеокамер. На практике это происходило следующим образом: выбирались два Wi-Fi сканера, которые располагались, соответственно, в начале и конце пешеходного подземного перехода. Также, помимо расположенных Wi-Fi сканеров в непосредственной близости от них располагались две видеокамеры. Соответственно, анализировались 15–20-минутные отрезки времени и сопоставлялись Wi-Fi данные и видеоданные. В результате удалось вычислить *n*-количество пешеходов по их MAC-адресам. Пешеходы двигались в разные стороны: как в сторону административного здания, так и обратно. По итогам данного исследования были получены результаты, позволяющие утверждать, что по MAC-адресу устройства и полученной временной отметке можно определять потенциальные пешеходные потоки и их направления.

### Иные источники

В статье [17] приводятся результаты исследования в столице Кении – Найроби, где были установлены 42 Wi-Fi сканера возле транспортно-пересадочного узла с целью сбора и анализа полученных Wi-Fi данных. Авторам удалось определить среднее число мобильных устройств с включённым Wi-Fi модулем, радиус обнаружения Wi-Fi устройств, оценить количество пешеходов (пассажиры) и их время ожидания на общественных остановках. Исходя из полученных данных, авторы предложили местным органам власти внести изменения в правила организации автобусных маршрутов.

По сведениям, полученным из открытых источников<sup>1</sup>, в большинстве случаев Wi-Fi сканеры, также имеющие название Wi-Fi снифферы (анализаторы трафика) и Wi-Fi радары, на территории Российской Федерации используются в ритейле, а именно, в торговых центрах для анализа потенциальных покупателей. В торговой точке в центре зала

<sup>1</sup> Hot-wifi. Сайт производителей Wi-Fi радаров. [Электронный ресурс]: <https://hot-wifi.ru/radar/>. Доступ 10.04.2022.

Сравнительные характеристики Wi-Fi сканеров  
[составлено автором на основе характеристик оборудования]<sup>3</sup>

|                                  | Meshlium Libelium Scanner | Wi-Fi роутер TP-LINK |
|----------------------------------|---------------------------|----------------------|
| Встроенное ПО                    | +                         | +                    |
| Встроенная антенна Wi-Fi         | +                         | +                    |
| Встроенная антенна Bluetooth     | +                         | —                    |
| Внешняя антенна Wi-Fi            | +                         | —                    |
| Внешняя антенна Bluetooth        | +                         | —                    |
| Доступ к интерфейсу оборудования | +                         | —                    |
| Встроенный PHP ADMIN             | +                         | —                    |
| Доступ к исходным данным         | +                         | —                    |

устанавливается Wi-Fi «радар», который сканирует все вошедшие в данное помещение и вышедшие из него MAC-адреса устройств. Основой для этого является распространённость бесплатного Wi-Fi в торговых центрах и, соответственно, бесплатного доступа в Интернет, когда у потенциальных покупателей появляется возможность включения Wi-Fi модуля в своём устройстве (например, в телефоне, ноутбуке и т.д.).

В статье [18] авторы исследовали технические характеристики Wi-Fi сканеров, а именно влияние антенн на результат при сборе Wi-Fi данных. Полученные данные использовались с целью оценки времени в пути для пешеходов и велосипедистов.

В другой статье [19] авторами была проведена оценка времени ожидания пассажиров общественного транспорта на крупнейшем автовокзале Токио при помощи анализа Wi-Fi устройств. Ими был создан метод оценки времени пребывания пассажиров (пешеходов) и сделан вывод, что для получения более точных Wi-Fi данных требуется увеличение мест наблюдения и мест сбора Wi-Fi данных.

В статье [20] авторы утверждают, что лёгкий доступ в Интернет в пути следования имеет большой потенциал для изменения деятельности пассажира во время поездки. Соответственно, в больших городах количество пользователей Интернета возрастает. Также существует вероятность, что новые технологии могут улучшить качество жизни, но ухудшить экологию.

В статье [21] авторы рассмотрели полученные от Wi-Fi устройств данные с целью возможности их использования для расчёта пассажиропотока, был сделан вывод, что для данного расчёта требуется большее количество Wi-Fi устройств. По мнению авторов, Wi-Fi данные коррелируют с реальными данными о пассажирах, но Wi-Fi данных, по их мнению,

недостаточно для отображения полной картины конкретного пассажиропотока.

Таким образом, в изученных источниках не было найдено решений и методов по расчёту маршрутов перемещения потенциальных пассажиров общественного транспорта, получаемых на основе анализа Wi-Fi данных.

В результате анализа сайта государственных закупок был обнаружен заключённый контракт в октябре 2020 года на 152 млн рублей<sup>2</sup> на создание комплексной информационной системы мониторинга пассажиропотока (КИС МП) в рамках развития интеллектуальной транспортной системы г. Москвы. В рамках данного контракта поставщик обязан поставить 20 мобильных устройств мониторинга пассажиропотока и 200 стационарных Wi-Fi сканеров. Также, поставщик был обязан смонтировать данное оборудование, разработать программное обеспечение и проводить сервисное обслуживание как установленного оборудования, так и программного обеспечения. Также должен был быть создан модуль отчётности, включающий формирование тепловых карт и отчёта по количеству пользователей и др.

Методология исследования

Для получения результата, а именно данных о пассажиропотоках, требовалась самостоятельная разработка методологии исследования, в основу которой вошёл выбор Wi-Fi

<sup>2</sup> Создание комплексной информационной системы мониторинга пассажиропотока (КИС МП) в рамках развития интеллектуальной транспортной системы г. Москвы. Официальный сайт государственных закупок. [Электронный ресурс]: <https://zakupki.gov.ru/epz/order/notice/ea44/view/common-info.html?regNumber=0173200001420001132>. Доступ 10.04.2022.

<sup>3</sup> Используется последовательная нумерация таблиц с учётом первой части статьи.



сканера и разработка программы для анализа Wi-Fi данных на базе Microsoft Excel. Составной частью методологии является выбор маршрутов (исследовательских случаев) и времени замеров.

В рамках исследования использовалось оборудование с параметрами, обозначенными в таблице 2.

В рамках исследования Wi-Fi сканер использовался как динамический. Динамический Wi-Fi сканер подразумевает использование переносного источника питания.

Выбранный Wi-Fi сканер имеет различные технические параметры, в частности, дополнительные Wi-Fi/Bluetooth антенны, позволяющие корректировать работу Wi-Fi сканера. В рамках данной работы анализировались только Wi-Fi данные, технические параметры Wi-Fi сканера настраивались в интересах исследования, проводились эксперименты для улучшения результатов. В данной работе Bluetooth данные не рассматриваются.

Wi-Fi сканер служил источником исходных, а Wi-Fi роутер – обработанных Wi-Fi данных.

Wi-Fi сканер имеет различные параметры, влияющие на конечный результат обработки данных. Первым параметром является временная метка (TimeStamp), то есть то время, в которое была произведена фиксация устройства, а именно определение его MAC-адреса. Используемый Wi-Fi сканер имеет несколько видов периодичности сканирования. До недавнего времени Wi-Fi сканер имел возможность сканирования каждые 15–90 секунд, но при обновлении программного обеспечения Wi-Fi сканера появилась возможность сканирования в режиме онлайн. Данный вид сканирования был выбран исходя из гипотезы его значительного влияния на результаты сбора данных.

Вторым параметром, получаемым от Wi-Fi сканера, является MAC-адрес. В рамках данной работы MAC-адрес являлся уникальным параметром, позволяющим определить конкретное Wi-Fi устройство, и соответственно, можно было вычислить потенциального пассажира.

В процессе исследования накопительным итогом собиралась база данных из MAC-адресов производителей оборудования, таких как, например, Apple, Samsung и т.д. Соответственно, учитывая, что данные

производители выпускают преимущественно мобильные устройства, ноутбуки и другие персональные гаджеты, был сделан вывод о том, что при обнаружении устройств с высокой долей вероятности данное устройство находится у пользователя, а именно, у потенциального пассажира. И соответственно, MAC-адрес данного Wi-Fi устройства можно считать признаком пассажира. База данных пополнялась MAC-адресами производителей сетевого оборудования, такого как роутеры, маршрутизаторы и т.д., например, такими как D-Link international, Cisco Systems и другие. В дальнейшем такие MAC-адреса идентифицировались как «шумы» и «очищались» в первой степени фильтрации, так как сетевое оборудование не может соотноситься с потенциальными пассажирами.

Одним из важнейших вопросов была «рандомизация» MAC-адресов<sup>4,5</sup>. С определённого времени производители Wi-Fi устройств прописывают в программное обеспечение возможность «рандомизации» MAC-адреса. Данная технология направлена на защиту от Wi-Fi сканирования с целью дальнейшей обработки и для снижения эффективности анализа Wi-Fi данных. Но в результате изучения литературы [22] и проведения ряда экспериментов и анализа данных выяснилось, что существующая рандомизация используется далеко не на всех Android и iOS устройствах. Также многое зависит от программного обеспечения устройства и даты его выпуска. Точных сведений о том, какое устройство рандомизирует MAC-адреса, а какое не рандомизирует, нет. Более того, в рамках данного исследования был обнаружен уникальный MAC-адрес, точнее первые его три значения, характеризующие производителя оборудования, принадлежащие компании Google. Данные MAC-адреса не относились к конкретным производителям, но не изменяли своего адреса за весь период сканирования. В среднем, в течение 40–50 минут, пока собирались Wi-Fi данные, MAC-адрес, принадлежащий Google, не менялся. То есть, существующая рандомизация MAC-адресов несовершенна и существенно не влияет на результат.

<sup>4</sup> Что на самом деле происходит с рандомизацией MAC-адресов. [Электронный ресурс]: [habr.com/ru/post/375057/](https://habr.com/ru/post/375057/). Доступ 10.04.2022.

<sup>5</sup> Всё, что вы хотели знать о MAC-адресе. [Электронный ресурс]: [habr.com/ru/post/483670/](https://habr.com/ru/post/483670/). Доступ 10.04.2022.

Также, хотелось бы отметить, что MAC-адрес является тоническим параметром, никак не связанным с персональными данными и данными мобильного оператора. MAC-адрес назначается производителем, пользователь приобретает данное устройство с уже установленным MAC-адресом<sup>6</sup>. То есть, MAC-адрес никак не связан с номером мобильного телефона или номером транспортного средства. Более того, в случае выключения режима поиска Wi-Fi в мобильном устройстве устройство не будет обнаружено. Пользователь самостоятельно решает иметь ли ему включённый Wi-Fi модуль в собственном устройстве.

Третьим параметром является SSID. SSID (Service Set Identifier) – это название Wi-Fi устройства. По названию Wi-Fi устройства теоретически можно определить тип устройства, например, мобильный телефон или сканер. При каждой поездке с динамическим Wi-Fi сканером фиксировалось большое количество данных от сети с названием «MT\_FREE», что по определению является названием Wi-Fi оборудования в сети городского общественного транспорта Москвы. Далее данные MAC-адреса удалялись и не обрабатывались.

Четвёртый параметр – RSSI (Received Signal Strength Indicator) – показатель уровня принимаемого сигнала. Данный параметр очень важен для анализа Wi-Fi данных по причине возможности определения примерного расстояния от Wi-Fi сканера до Wi-Fi устройства. В исследовании параметр RSSI был в диапазоне от -89 до -50 децибел. Эти показатели характеризуют то, что все потенциальные пассажиры находились в непосредственной близости от динамического Wi-Fi сканера.

Пятый параметр – это Vendor (производитель), описанный выше.

### **Разработка программы для анализа Wi-Fi данных на базе Microsoft Excel**

Важнейшим элементом анализа Wi-Fi данных является программное обеспечение. В рамках данной работы в качестве основы для анализа и обработки Wi-Fi данных был выбран Microsoft Excel.

<sup>6</sup> Meshlium Technical Guide. Документация Wi-Fi сканера. [Электронный ресурс]: <https://development.libelium.com/meshlium-technical-guide/general>. Доступ 10.04.2022.

Wi-Fi сканер собирал данные в режиме онлайн. Полученные временные отметки (TimeStamp) синхронизировались с отметкой открытия дверей в вагонах МЦД и метрополитена. Wi-Fi сканер фиксировал временную отметку с MAC-адресом. Далее она сопоставлялась со временем открытия двери вагонов. Данные об открытии дверей вагона заносились исследователем самостоятельно в таблицу по каждому маршруту движения. Также исследователь на каждой станции МЦД или метрополитена записывал количество пассажиров, находящихся в данный момент времени в вагоне. Таким образом исследователь вместе с Wi-Fi сканированием использовал глазомерный метод для подсчёта пассажиров и в дальнейшем сравнивал реальное количество пассажиров в вагоне с Wi-Fi данными.

Все исследования, а именно сбор и анализ Wi-Fi данных, проводились исключительно автором данной работы.

### **Фильтрация данных**

Исследователем были созданы следующие этапы фильтрации данных и алгоритмы:

1. На первом этапе фильтрации «отсеивались» Wi-Fi данные от всех Wi-Fi роутеров и других стационарных Wi-Fi устройств.

2. На втором этапе фильтрации «отсеивались» Wi-Fi данные, имеющие одну временную отметку.

3. Далее происходил этап синхронизации временной отметки Wi-Fi со временем открытия двери вагона.

Также решалась задача отбора данных для определения различных свойств пассажиропотоков, таких как средняя дальность поездки и среднее время поездки пассажиров. Сбор данных производился в утренние часы пик.

### **Результаты эмпирического исследования**

Период сбора данных: с февраля по май 2021 года. Участками проведения исследования являлись маршруты Московского метрополитена и МЦД.

Указанные в таблицах 3 и 4 маршруты были определены по следующим критериям.

Все четыре участка имеют разные вводные параметры, которые, по мнению автора, влияют на получаемые результаты.

1. Длина маршрута.

Участки № 1, 2, 4 имеют длину свыше 20 км, а участок № 3 – 8,8 км. Участок № 3 является полным маршрутом и имеет транс-



Таблица 3

Участки исследования [выполнено автором]

| Участки | Линия метрополитена              | Начальная станция исследования | Конечная станция исследования | Количество обработанных маршрутов в утренний час пик | Длина маршрута (км) | Среднее время прохождения маршрута |
|---------|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------------|
| 1       | МЦД-2                            | Бутово                         | Москва Курская                | 3                                                    | 29,2                | 00:48:00                           |
| 2       | Замоскворецкая линия             | Алма-Атинская                  | Белорусская                   | 3                                                    | 27,9                | 00:41:46                           |
| 3       | Бутовская линия                  | Бунинская аллея                | Битцевский парк               | 3                                                    | 8,8                 | 00:16:40                           |
| 4       | Таганско-Краснопресненская линия | Котельники                     | Баррикадная                   | 3                                                    | 25,1                | 00:38:00                           |

Таблица 4

Особенности выбранных участков [выполнено автором]

| Участки | Длина маршрута свыше 20 км | Преимущественное заложение линии | Характер сочленения подвижного состава | Расположение сканера: уровень пола/верхняя полка |
|---------|----------------------------|----------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 1       | +                          | Наземное                         | Сочленённый со сквозным проходом       | Верхняя полка                                    |
| 2       | +                          | Подземное                        | СМЕ (вагонные сцепки без прохода)      | Уровень пола                                     |
| 3       | –                          | Наземное/Подземное               | СМЕ (двухвагонные секции)              | Уровень пола                                     |
| 4       | +                          | Подземное                        | Сочленённый со сквозным проходом       | Уровень пола                                     |

портно-пересадочный узел на ст. улица Старокачаловская с переходом на ст. Бульвар Дмитрия Донского.

2. Преимущественное заложение линии.

Участки № 2, 4 являются подземными, участок № 1 наземным, а участок № 3 – и наземным, и подземным. Данные участки Бутовской линии метрополитена выбирались из-за их различных технических характеристик, которые могут влиять на передаваемый сигнал.

3. Характер сочленения подвижного состава.

Главной особенностью полученных результатов являлось то, что в сочленённых вагонах результат после обработки Wi-Fi данных оказывался лучше, чем в поездах без проходов. Это обусловлено спецификой работы Wi-Fi.

4. Расположение сканера: уровень пола/верхняя полка.

Расположение Wi-Fi сканера имеет определяющее значение для результата исследования. При расположении Wi-Fi сканера на

верхней багажной полке вагона (участок № 1) результат оказывался близким к идеальному, а, соответственно, при расположении Wi-Fi сканера на полу в поездах без проходов результат оказывался наихудшим, но только в закрытом вагоне.

В итоге из четырёх участков наилучшим по полученным и обработанным данным оказался результат при расположении Wi-Fi сканера на верхней полке (участок № 1) и при сочетании сочленённого вагона и расположения Wi-Fi сканера на полу (участок № 4). Соответственно, наихудшим результат был в поездах без проходов и при расположении Wi-Fi сканера на полу (участки № 2 и № 3).

#### Участок № 1. ст. Бутово (МЦД-2)–ст. Москва Курская (МЦД-2)

В период с 1 по 5 марта 2021 года был проведён сбор данных на участке № 1, а именно от ст. Бутово (МЦД-2) до ст. Москва-Курская (МЦД-2). Длина данного маршрута составила 29,2 км, а среднее время прохождения в пути – 48 минут.



Рис. 1. Изображение участка № 1. [Электронный ресурс]: [https://yandex.ru/metro/moscow?scheme\\_id=sc34974011/](https://yandex.ru/metro/moscow?scheme_id=sc34974011/). Доступ 10.04.2022.

На пути данного маршрута существует два транспортно-пересадочных узла – ст. Царицыно (МЦД-2) и ст. Текстильщики (МЦД-2). Конечной точкой была выбрана ст. Москва-Курская (МЦД-2), которая фактически является также транспортно-пересадочным узлом. Таким образом, на опытном участке исследованы особенности циркуляции данных в зонах транспортно-пересадочных узлов с высокой сменяемостью пассажиров. Помимо сбора Wi-Fi данных проводился визуальный замер количества пассажиров в вагоне в конкретный момент времени, а именно во время открытия и закрытия дверей вагона. Фиксировалось время открытия дверей и количество

пассажиров на момент закрытия дверей вагона, тем самым исключались вышедшие пассажиры.

Для равномерности исследования все замеры проводились в утренние часы пик, в промежуток с 07:00 до 08:30 в будние дни.

Для улучшения результата на участке № 1 дополнительно собирались Wi-Fi данные до прибытия поезда возле турникетов на вход на платформу МЦД-2 о пассажирах, вошедших именно на начальной станции исследования – Бутово (МЦД-2). Результат зависел от расположения Wi-Fi сканера и мощности антенны. Далее исследователь по прибытии поезда заходил в вагон, фиксировал время входа в вагон,



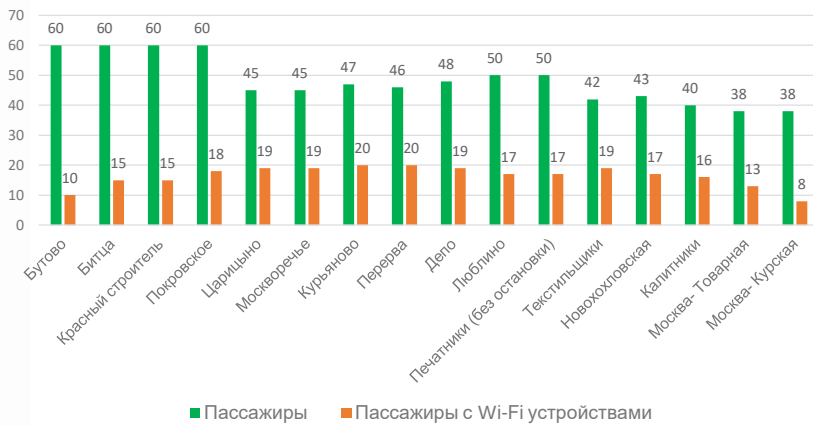


Рис. 2. Соотношение реального числа пассажиров с числом пассажиров с включённым Wi-Fi модулем (МЦД Бутово–Москва–Курская – утренний час пик) – 1 марта 2021 года [выполнено автором].



Рис. 3. Процентное соотношение доли пассажиров с включённым Wi-Fi модулем (серый/более светлый сектор) и доля пассажиров с выключенным Wi-Fi модулем (голубой/более тёмный сектор) [выполнено автором].

фиксировал количество пассажиров в вагоне и располагал динамический Wi-Fi сканер на верхней полке вагона, находясь примерно в середине вагона. Далее на протяжении всего пути фиксировалось количество пассажиров в вагоне и время открытия дверей вагона.

После сбора Wi-Fi данных исследователь переходил к их обработке. Используя выше-указанный алгоритм обработки данных и степени фильтрации, были получены показатели, указанные на рис. 2.

На рис. 3 представлено процентное соотношение между реальным числом пассажиров и расчётным числом пассажиров с включённым Wi-Fi модулем на их устройствах. Как показано на рис. 3, на таких станциях как Курьяново (43 %), Перерва (43 %) и Текстильщики (45 %) доля пассажиров с устройствами с включённым Wi-Fi модулем приближалась к 50 %, что является достаточно высоким результатом.

Далее анализировались маршруты потенциальных пассажиров. При помощи Wi-Fi

| Станция              | Бутovo  | Битца   | Красный<br>строитель | Покровское | Царицыно | Москворечье | Курыново | Перерва | Депo    | Люблино | Печатники<br>без<br>остановки | Текстильщики | Новохоловская | Калитники | Москва-<br>Товарная | Москва-<br>Курская |
|----------------------|---------|---------|----------------------|------------|----------|-------------|----------|---------|---------|---------|-------------------------------|--------------|---------------|-----------|---------------------|--------------------|
| Кол-во<br>пассажиров | 60      | 60      | 60                   | 60         | 45       | 45          | 47       | 46      | 48      | 50      |                               | 42           | 43            | 40        | 38                  | 0                  |
| Время                | 7:04:00 | 7:08:43 | 7:11:55              | 7:14:47    | 7:19:10  | 7:23:50     | 7:26:15  | 7:28:50 | 7:31:55 | 7:34:30 |                               | 7:38:15      | 7:41:30       | 7:44:05   | 7:46:45             | 7:52:00            |
|                      |         | 7:08:07 |                      |            |          |             | 7:26:46  |         |         |         |                               | 7:37:28      |               |           |                     | 7:50:23            |
|                      | 7:04:38 | 7:09:21 |                      |            |          |             |          |         |         |         |                               |              |               |           |                     |                    |
|                      | 7:05:27 |         |                      |            | 7:17:48  |             |          |         |         |         |                               | 7:39:49      |               |           |                     | 7:49:24            |
|                      | 7:07:25 |         |                      |            |          |             |          |         |         |         |                               | 7:37:59      | 7:42:47       |           |                     |                    |
|                      | 7:05:33 |         |                      | 7:17:10    |          |             |          |         |         |         |                               | 7:42:33      | 7:42:33       |           |                     |                    |
|                      |         |         |                      |            |          | 7:25:26     |          |         | 7:32:03 |         |                               |              |               | 7:45:21   |                     | 7:47:52            |
|                      |         |         |                      |            | 7:22:50  |             |          |         |         |         |                               |              |               | 7:42:46   |                     |                    |
|                      |         |         |                      |            |          |             | 7:27:19  |         |         |         |                               |              |               |           |                     | 7:52:11            |
|                      | 7:05:35 |         |                      |            |          | 7:24:33     |          |         |         |         |                               |              |               |           | 7:45:54             |                    |
|                      |         | 7:08:51 |                      |            |          |             |          |         |         |         |                               |              |               |           | 7:45:37             | 7:52:00            |
|                      |         |         |                      |            |          |             |          | 7:27:19 |         |         |                               |              |               | 7:44:29   |                     |                    |
|                      |         |         |                      | 7:15:01    |          |             |          | 7:28:16 |         |         |                               |              |               | 7:45:37   |                     | 7:51:11            |
|                      |         | 7:06:38 |                      |            |          |             | 7:24:44  |         |         |         |                               |              |               |           |                     | 7:58:46            |
|                      | 7:07:36 |         | 7:13:48              |            |          |             |          | 7:28:57 |         |         |                               |              |               |           |                     |                    |
|                      | 7:05:17 |         |                      |            | 7:15:40  |             |          |         |         |         |                               |              |               | 7:42:44   | 7:44:49             |                    |
|                      | 7:01:44 |         |                      | 7:14:01    |          |             |          |         |         |         |                               |              |               |           |                     |                    |
|                      |         |         |                      | 7:16:40    |          |             |          |         |         |         |                               |              |               |           | 7:45:54             |                    |
|                      | 7:06:02 |         |                      |            |          |             |          |         | 7:31:59 |         |                               |              |               |           |                     |                    |
|                      |         | 7:08:52 |                      |            |          |             |          |         |         |         |                               |              |               |           |                     | 7:51:29            |
|                      |         | 7:09:58 |                      |            |          |             |          |         |         |         |                               |              |               |           |                     |                    |
|                      | 7:04:52 |         |                      |            | 7:17:50  |             |          |         |         |         |                               | 7:38:01      |               |           |                     |                    |

Рис. 4. Маршруты пассажиров с включённым модулем Wi-Fi на участке от станции Бутovo (МЦД-2) до станции Москва-Курская (МЦД-2) – 1 марта 2021 года [выполнено автором].



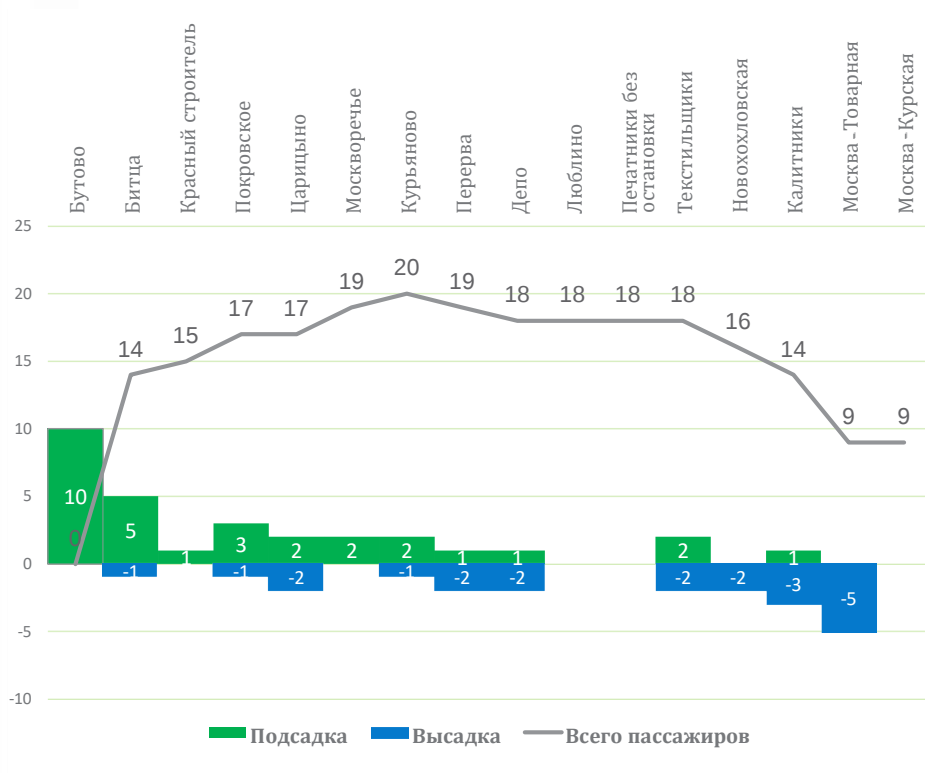


Рис. 5. Количество пассажиров на участке № 1 [выполнено автором].

сканера были определены начальные и конечные временные отметки MAC-адресов мобильных устройств, что позволило определить потенциальные начальные и конечные точки входа и выхода пассажира. Синхронизация временной отметки открытия дверей вагона сопоставлялась с временной отметкой от Wi-Fi сканера. В силу того, что временная отметка MAC-адреса устройства отличалась от временной отметки открытия двери, сопоставление данных отметок осуществлялось с погрешностью в 30–40 секунд. То есть, потенциальный пассажир, а именно MAC-адрес его мобильного устройства, мог быть определен как до входа в вагон, так и после. Но рассматривая первую и конечную временные отметки Wi-Fi устройства, стало ясно, что период постоянного определения Wi-Fi устройства между начальной и конечной точками мог составлять от 1,5 до 38 минут.

Таким образом были получены маршруты потенциальных пассажиров с их начальными и конечными временными отметками. Обнаружение временной отметки уникального MAC-адреса принималось точкой входа в вагон, а её исчезновение – точкой выхода из вагона.

Стоит отметить, что возможны случаи включения Wi-Fi модуля на устройстве как после входа в вагон, так и выключение его в любой момент времени. Исследователь счёл нужным рассматривать данные случаи как погрешность системы, так как в данной ситуации важную роль играл человеческий фактор. Но в случае, если потенциальный пассажир включал Wi-Fi модуль позже входа в вагон, расчёт производился с синхронизацией его с ближайшей временной отметкой открытия двери, а именно, с ближайшей станцией метро (МЦД).

При помощи созданного алгоритма удалось определить 29 маршрутов конкретных пользователей на участке № 1 в первом рассматриваемом случае на всём пути следования. Результаты отражены на рис. 4.

По каждому из 29 потенциальных маршрутов пассажиров были определены:

- время в пути;
- расстояние, которое проехал пассажир;
- начальная точка входа в вагон МЦД;
- конечная точка выхода из вагона МЦД.

По всем 29 маршрутам были определены: среднее время в пути, составившее 23 минуты 35 секунд из максимального времени проезда всего измеряемого участка в 48 ми-

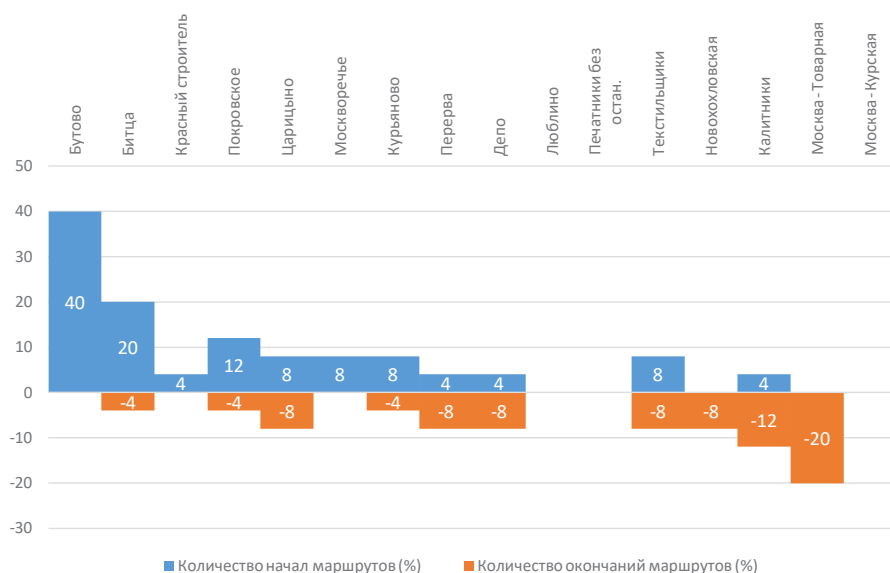


Рис. 6. Процентное соотношение количества начатых и завершённых на данной станции поездок пассажиров [выполнено автором].

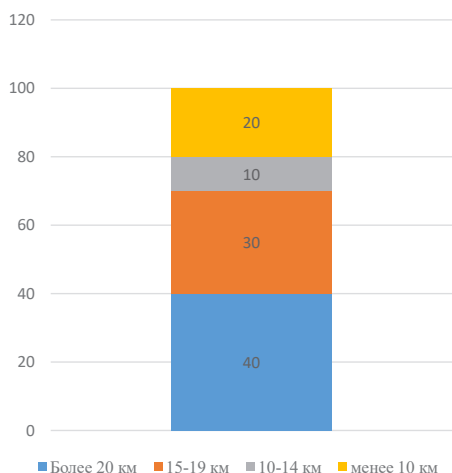


Рис. 7. Распределение маршрутов пассажиров с Wi-Fi устройствами от станции Бутово в зависимости от дальности их поездки (%) [выполнено автором].

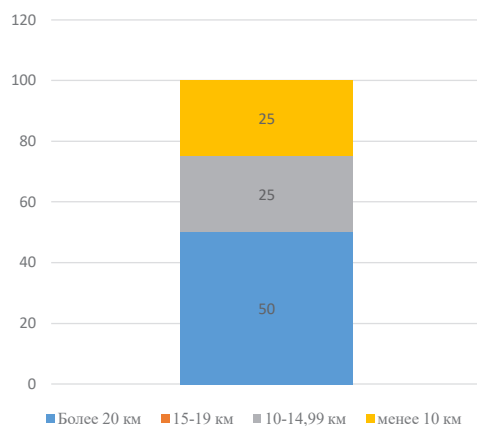


Рис. 8. Распределение длины маршрутов проезда пассажиров с Wi-Fi устройствами, доехавших до ст. Москва-Курская (конечной станции замера) (%) [выполнено автором].

нут, а также средняя дальность поездки, составившая 15,09 км (из общего километража, равного 29,2 км).

В связи с поставленной задачей определить, как можно большее количество характеристик (параметров) пассажиропотока, далее было проанализировано количество пассажиров, совершающих поездку на исследуемом участке. На рис. 5 отображено количество таких пассажиров, а также входящих и выходящих пассажиров.

По рис. 6 можно определить, что более 40 % пассажиров с включённым модулем Wi-Fi вошли на станции Бутово или до неё, так

как данная станция не является начальной, и 20 % – на станции Битца.

На рис. 7 представлена информация распределения маршрутов Wi-Fi устройств от станции Бутово в зависимости от дальности поездки в процентном соотношении. Как мы видим, более 40 % пассажиров с Wi-Fi устройствами из данной выборки проезжают более 20 км, а так как длина всего маршрута составляет 29,2 км, их путь близок к проезду полного маршрута, то есть до центра города.

На рис. 8 представлено распределение по длине маршрутов пассажиров с Wi-Fi устройствами, доехавших до конечной станции



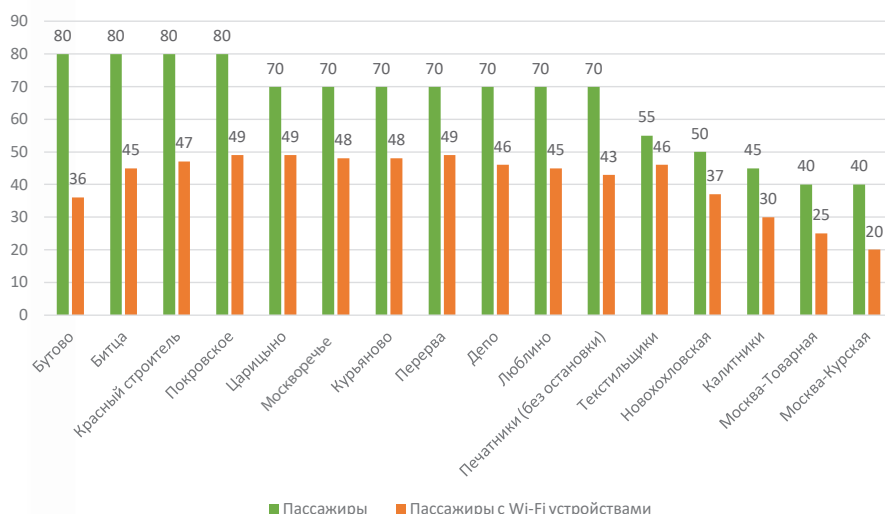


Рис. 9. Соотношение реальных пассажиров с пассажирами с включённым Wi-Fi модулем (МЦД Бутово–Москва-Курская – утренний час пик) – 4 марта 2021 г. [выполнено автором].

Москва-Курская. На нём показано, что более 50 % пассажиров из данной выборки проезжают более 20 км, что также является показателем близким к полному маршруту.

Ещё одним показателем, который можно получить из обработанных данных, – это доля Wi-Fi устройств, а именно пассажиров, проехавших весь участок, то есть процент самых длинных маршрутов через все станции от общего числа маршрутов всех протяжённостей, равный 3,45 %.

Таким образом, комбинируя данные, возможно получать различные параметры и свойства пассажиропотоков в зависимости от поставленных задач.

Далее проанализируем данные на вышеуказанном участке от станции Бутово (МЦД-2) до станции Москва-Курская (МЦД-2), полученные 4 марта 2021 года в утренний час пик (рис. 9).

В результате исследования 4 марта 2021 года с последующей обработкой и фильтрацией данных удалось обнаружить 83 маршрута потенциальных пассажиров (рис. 10).

Как видно из табл. 5, на результат данных о количестве обнаруженных маршрутов пассажиров очень сильно влияет мощность антенны. При проведении первого замера (1 марта 2021 года) Wi-Fi сканер не имел внешней антенны. По этой причине результат в данный день был низким. В другие дни результат является достаточно высоким по

причине обнаружения большего количества обнаруженных маршрутов пассажиров. Также интересным фактом является то, что показатель по средней дальности поездки потенциальных пассажиров оказался в двух замерах почти равным, и соответственно, среднее время поездки пассажиров были очень близки по значениям.

## Участок № 2: ст. Алма-Атинская–ст. Белорусская (Замоскворецкая линия метро)

Далее с применением отработанного метода были проанализированы данные на участке № 2 от станции метро Алма-Атинская до станции метро Белорусская на Замоскворецкой линии (также в утренний час пик).

На рис. 12 можно видеть, что процент обнаруженных Wi-Fi устройств, по которым можно построить маршруты, ниже, чем при анализе участка № 1. Причина в том, что вагоны Замоскворецкой линии метро закрыты, и при проведении анализа Wi-Fi сканер располагался на полу, что тоже снижало процент собранных данных. Также замер проводился в утренний период времени с 07:26 до 08:08 20 февраля 2021 года в субботу, являющуюся для большинства жителей города Москвы и прибывающих в город пассажиров выходным днём. Но и при анализе данных от 24 и 26 февраля 2021 года (рабочие дни) Wi-Fi данные потенциальных пассажиров в процентном соотношении

| Бутovo  | Битца   | Красный<br>строитель | Покровское | Царицыно | Мосоварежье | Курыново | Перерва | Дело    | Лобрино | Печатины без ост. | Текстильщики | Новоохловская | Калитники | Москва-Товарная | Москва-Курская |
|---------|---------|----------------------|------------|----------|-------------|----------|---------|---------|---------|-------------------|--------------|---------------|-----------|-----------------|----------------|
| 7:21:00 | 7:25:00 | 7:28:00              | 7:31:00    | 7:36:50  | 7:41:20     | 7:43:45  | 7:46:00 | 7:48:30 | 7:50:30 | нет               | 7:54:10      | 7:57:00       | 7:59:00   | 8:01:30         | 8:07:20        |
| 80      | 80      | 80                   | 80         | 70       | 70          | 70       | 70      | 70      | 70      | нет               | 55           | 50            | 45        | 40              | 0              |
|         |         | 7:28:43              | 1          | 1        | 1           | 1        | 7:45:33 |         |         |                   |              |               |           |                 |                |
|         |         |                      | 7:35:17    | 1        | 1           | 1        | 7:45:19 |         |         |                   |              |               |           |                 |                |
|         |         |                      |            | 7:39:41  | 1           | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 1            | 7:56:55       |           |                 |                |
| 7:20:54 | 1       | 1                    | 1          | 1        | 1           | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 1            | 1             | 1         | 1               | 8:04:37        |
|         | 7:25:50 | 7:28:13              |            |          |             |          | 7:46:17 | 1       | 1       | 1                 | 1            | 1             | 1         | 1               | 8:08:35        |
| 7:21:36 | 1       | 1                    | 1          | 1        | 7:38:35     |          |         |         |         |                   |              |               |           |                 |                |
|         | 7:27:22 | 1                    | 1          | 1        | 1           | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 1            | 1             | 7:58:44   |                 |                |
| 7:22:14 | 1       | 1                    | 1          | 1        | 1           | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 1            | 1             | 7:59:25   |                 |                |
|         |         |                      |            |          | 7:41:24     | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 7:54:28      |               |           |                 |                |
| 7:21:09 | 1       | 1                    | 1          | 1        | 1           | 1        | 1       | 1       | 7:49:41 |                   |              |               |           |                 |                |
|         |         |                      |            |          |             | 7:42:44  | 1       | 1       | 1       | 1                 | 1            | 7:57:25       |           |                 |                |
|         | 7:24:30 | 1                    | 1          | 1        | 1           | 1        | 7:45:28 |         |         |                   |              |               |           |                 |                |
|         |         | 7:27:50              | 1          | 7:36:50  |             | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 1            | 1             | 1         | 8:01:15         |                |
|         |         | 7:27:35              | 1          | 1        |             | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 1            | 1             |           |                 |                |
| 7:23:59 | 1       | 1                    | 1          | 1        | 7:38:29     |          |         |         |         |                   |              |               |           |                 |                |
| 7:20:53 | 1       | 1                    | 1          | 1        | 1           | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 1            | 1             | 7:59:45   |                 |                |
| 7:20:30 | 1       | 1                    | 1          | 1        | 1           | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 1            | 1             | 1         | 1               | 8:04:01        |
| 7:14:00 | 1       | 7:26:30              |            |          |             |          |         |         |         |                   |              |               |           |                 |                |
|         |         |                      | 7:35:22    | 1        | 1           | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 1            | 1             | 1         | 1               | 8:02:32        |
|         |         |                      |            |          |             | 7:44:50  | 1       | 1       | 7:50:59 |                   |              |               |           |                 |                |
|         | 7:25:58 | 1                    | 1          | 1        | 1           | 1        | 7:46:10 |         |         |                   |              |               |           |                 |                |
|         | 7:25:04 | 1                    | 1          | 1        | 1           | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 1            | 1             | 1         | 8:00:42         |                |
|         |         | 7:28:50              | 1          | 1        | 1           | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 7:54:18      |               |           |                 |                |
|         |         |                      |            |          |             |          |         |         |         |                   |              | 7:58:14       | 1         | 1               | 8:09:16        |
|         |         |                      |            | 7:40:36  | 1           | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 1            | 1             | 1         | 1               | 8:12:37        |
|         |         | 7:28:27              | 7:30:06    |          |             |          |         |         |         |                   |              |               |           |                 |                |
|         |         |                      |            |          |             |          |         |         | 7:53:15 | 1                 | 1            | 1             | 1         | 1               | 8:11:37        |
|         |         |                      |            |          |             |          |         |         |         |                   | 7:55:01      | 7:57:40       |           |                 |                |
|         |         |                      |            |          |             | 7:43:33  | 1       | 7:48:42 |         |                   |              |               |           |                 |                |
| 7:21:28 | 1       | 1                    | 1          | 1        | 1           | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 1            | 1             | 1         | 1               | 8:02:21        |
| 7:20:24 | 1       | 1                    | 1          | 1        | 1           | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 7:52:03      |               |           |                 |                |
|         |         |                      |            |          |             |          |         | 7:49:15 | 1       | 1                 | 1            | 1             | 1         | 1               | 8:08:46        |
|         |         |                      |            |          |             |          |         |         |         |                   | 7:53:49      | 1             | 1         | 1               | 8:06:33        |
|         |         |                      |            |          |             | 7:44:48  | 1       | 1       | 1       | 1                 | 1            | 7:56:56       |           |                 |                |
| 7:22:41 | 1       | 1                    | 1          | 1        | 1           | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 1            | 1             | 1         | 8:00:16         |                |
|         |         |                      |            | 7:38:55  | 1           | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 1            | 1             | 1         | 1               | 8:07:27        |
|         |         |                      |            |          |             |          |         |         |         |                   | 7:54:33      | 1             | 7:58:10   |                 |                |
| 7:23:11 | 1       | 1                    | 1          | 7:36:31  |             |          |         |         |         |                   |              |               |           |                 |                |
| 7:24:15 | 1       | 1                    | 7:30:39    |          |             |          |         |         |         |                   |              |               |           |                 |                |
| 7:20:53 | 7:24:47 |                      |            |          |             |          |         |         |         |                   |              |               |           |                 |                |
| 7:21:21 | 1       | 1                    | 1          | 1        | 1           | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 1            | 7:57:21       |           |                 |                |
| 7:22:07 | 1       | 1                    | 1          | 7:37:22  |             |          |         |         |         |                   |              |               |           |                 |                |
| 7:22:44 | 1       | 1                    | 1          | 1        | 1           | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 1            | 1             | 1         | 1               | 8:03:53        |
|         |         |                      |            |          |             |          |         |         |         |                   |              |               |           | 8:00:00         | 8:08:00        |
|         |         |                      |            |          | 7:41:51     | 1        | 1       | 7:47:10 |         |                   |              |               |           |                 |                |
|         |         |                      |            |          |             |          |         | 7:48:27 | 1       | 1                 | 7:54:31      |               |           |                 |                |
| 7:19:29 | 1       | 1                    | 1          | 1        | 1           | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 1            | 1             | 1         | 1               | 8:08:45        |
|         |         |                      |            | 7:37:22  | 1           | 1        | 1       | 7:48:42 |         |                   |              |               |           |                 |                |
| 7:20:46 | 1       | 1                    | 1          | 1        | 1           | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 1            | 7:57:15       |           |                 |                |
| 7:20:42 | 1       | 1                    | 7:31:05    |          |             |          |         |         |         |                   |              |               |           |                 |                |
|         | 7:27:19 | 1                    | 1          | 1        | 1           | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 1            | 1             | 7:58:27   |                 |                |
| 7:20:55 | 1       | 1                    | 1          | 1        | 7:38:22     |          |         |         |         |                   |              |               |           |                 |                |
| 7:21:28 | 1       | 1                    | 1          | 1        | 1           | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 7:52:35      |               |           |                 |                |
| 7:21:19 | 1       | 1                    | 1          | 7:33:01  |             |          |         |         |         |                   |              |               |           |                 |                |
| 7:20:23 | 1       | 1                    | 1          | 1        | 1           | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 1            | 1             | 1         | 1               | 8:10:07        |
|         |         |                      | 7:30:52    | 7:36:28  |             |          |         |         |         |                   |              |               |           |                 |                |
| 7:22:17 | 1       | 1                    | 7:29:13    |          |             |          |         |         |         |                   |              |               |           |                 |                |
| 7:20:46 | 7:23:06 |                      |            |          |             |          |         |         |         |                   |              |               |           |                 |                |
| 7:21:36 | 1       | 1                    | 1          | 1        | 1           | 1        | 7:45:14 |         |         |                   |              |               |           |                 |                |
|         |         |                      |            | 7:31:43  | 1           | 7:40:48  |         |         |         |                   |              |               |           |                 |                |
|         |         |                      |            | 7:37:50  | 1           | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 1            | 1             | 1         | 8:02:19         |                |
| 7:20:24 | 1       | 7:28:45              |            |          |             |          |         |         |         |                   |              |               |           |                 |                |
|         |         | 7:26:39              | 1          | 7:32:22  |             |          |         |         |         |                   |              |               |           |                 |                |
| 7:20:38 | 1       | 1                    | 1          | 1        | 1           | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 7:54:18      |               |           |                 |                |
| 7:21:02 | 1       | 1                    | 7:31:30    |          |             |          |         |         |         |                   |              |               |           |                 |                |
| 7:20:53 | 1       | 1                    | 1          | 1        | 1           | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 7:53:51      |               |           |                 |                |
|         |         |                      | 7:33:48    | 7:35:24  |             |          |         |         |         |                   |              |               |           |                 |                |
|         | 7:24:22 | 1                    | 1          | 1        | 1           | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 1            | 1             | 1         | 1               | 8:04:53        |
|         |         |                      |            |          | 7:41:12     | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 7:54:52      |               |           |                 |                |
| 7:21:36 | 1       | 1                    | 1          | 1        | 1           | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 1            | 1             | 1         | 1               | 8:09:05        |
| 7:21:10 | 7:25:49 |                      |            |          |             |          |         |         |         |                   |              |               |           |                 |                |
| 7:20:55 | 1       | 1                    | 1          | 1        | 1           | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 7:50:45      |               |           |                 |                |
|         |         |                      |            |          |             | 7:43:20  | 1       | 1       | 1       | 1                 | 1            | 1             | 1         | 1               | 8:08:46        |
|         |         |                      |            |          |             | 7:38:24  | 7:42:15 |         |         |                   |              |               |           |                 |                |
|         |         |                      |            |          |             |          |         |         |         |                   |              |               |           |                 |                |
|         | 7:25:30 | 7:27:58              |            |          |             |          |         |         |         |                   |              |               |           |                 |                |
|         |         |                      |            | 7:37:36  | 1           | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 1            | 1             | 1         | 1               | 8:07:59        |
|         |         |                      |            |          | 1           | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 1            | 1             | 1         | 1               | 8:07:59        |
|         |         |                      |            | 7:33:13  |             | 7:38:51  |         |         |         |                   |              |               |           |                 |                |
|         |         |                      |            |          |             |          | 7:47:20 | 1       | 1       | 1                 | 1            | 1             | 1         | 8:01:19         |                |
| 7:17:39 | 1       | 1                    | 1          | 1        | 1           | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 1            | 7:57:42       |           |                 |                |
| 7:20:50 | 1       | 1                    | 1          | 1        | 1           | 1        | 1       | 1       | 1       | 1                 | 7:52:28      |               |           |                 |                |



Рис. 10. Маршруты потенциальных пассажиров с включённым модулем Wi-Fi на участке от станции Бутovo (МЦД-2) до станции Москва-Курская (МЦД-2) – 4 марта 2021 года [выполнено автором].



Таблица 5

Результат исследований на участке от станции Бутово (МЦД-2) до станции Москва-Курская (МЦД-2) 4 марта 2021 года [выполнено автором]

| Маршрут от станции Бутово (МЦД-2) до станции Москва-Курская (МЦД-2) | Количество обнаруженных маршрутов | Средняя дальность поездки пассажиров | Среднее время поездки пассажиров | Наличие внешней антенны |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| 01 марта 2021 г. – утренний час пик                                 | 29                                | 13,56 км                             | 0:20:13                          | –                       |
| 04 марта 2021 г. – утренний час пик                                 | 83                                | 15,09 км                             | 0:23:35                          | +                       |
| 05 марта 2021 г. – утренний час пик                                 | 60                                | 13,3 км                              | 0:19:48                          | +                       |
| Общие средние значения                                              | 57,3                              | 13,98 км                             | 0:21:12                          |                         |

оказались также ниже, чем на участке № 1. Из этого следует вывод, что расположение сканера на полу и высокая плотность людей в вагоне значительно снижает результативность исследования. Также на результаты могут влиять работающие в одном частот-

ном диапазоне<sup>7</sup> Wi-Fi роутеры и маршрутизаторы.

<sup>7</sup> Рекомендации от производителя Wi-Fi роутеров Keenetic. [Электронный ресурс]: <https://help.keenetic.com/hc/ru/articles/213968709-Что-влияет-на-работу-беспроводных-сетей-Wi-Fi-Что-может-являться-источником-помех-и-каковы-их-возможные-причины>. Доступ 10.04.2022.



Рис. 11. Изображение участка № 2. [Электронный ресурс]: [https://yandex.ru/metro/moscow?scheme\\_id=sc34974011/](https://yandex.ru/metro/moscow?scheme_id=sc34974011/). Доступ 10.04.2022.

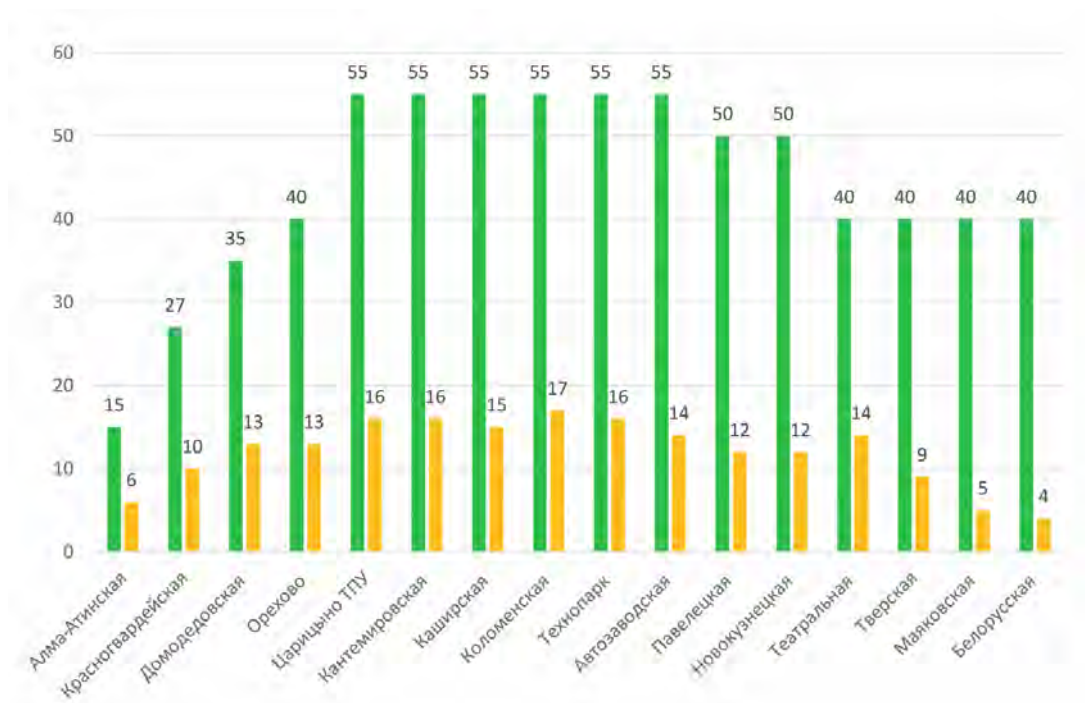


Рис. 12. Соотношение реальных пассажиров с пассажирами с включённым Wi-Fi модулем. Участок № 2 от станции метро Алма-Атинская до станции метро Белорусская – утренний час пик (Замоскворецкая линия) – 20 февраля 2021 года [выполнено автором].

В результате были выявлены 33 маршрута пассажиров с включённым Wi-Fi модулем (рис. 13).

В результате были получены следующие значения (табл. 6).

#### Участок № 3. ст. Бунинская аллея–ст. Битцевский парк (Бутовская линия)

Участок № 3 является самым коротким (8,8 км) по сравнению с другими обследованными участками. В данном исследовании Wi-Fi сканер так же, как и при сборе данных на участке № 2, находился на полу.

Полученные результаты показаны на рис. 15.

В результате было выявлено 18 маршрутов, используемых пассажирами (рис. 16).

В результате получились следующие значения (табл. 7).

#### Участок № 4. ст. Котельники–ст. Баррикадная (Таганско–Краснопресненская линия метро)

Данный участок № 4 характерен особенностью существующих транспортно-пересадочных узлов (ст. Лермонтовский проспект и ст. Выхино).

На рис. 18 представлена диаграмма проведённого сбора данных 18 мая 2021 года.

На рис. 19 представлен результат обработки 58 маршрутов пассажиров.

В результате были получены следующие значения (табл. 8).

Таблица 6

#### Результат исследования на участке № 2 от станции метро Алма-Атинская до станции метро Белорусская – утренний час пик (Замоскворецкая линия) [выполнено автором]

| Маршрут № 2 от станции метро Алма-Атинская до станции метро Белорусская – утренний час пик (Замоскворецкая линия) | Количество обнаруженных маршрутов пассажиров | Средняя дальность поездки пассажиров | Среднее время поездки пассажиров |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| 20 февраля 2021 г. – утренний час пик*                                                                            | 33                                           | 9,4 км                               | 0:12:28                          |
| 24 февраля 2021 г. – утренний час пик                                                                             | 35                                           | 8,7 км                               | 0:11:46                          |
| 26 февраля 2021 г. – утренний час пик                                                                             | 32                                           | 10,4 км                              | 0:13:52                          |
| Общие средние значения                                                                                            | 33,33                                        | 9,5 км                               | 0:12:42                          |

Примечание: \*20 февраля 2021 года – суббота.



Рис. 13. Маршруты пассажиров с включённым модулем Wi-Fi на участке № 2 от станции метро Алма-Атинская до станции метро Белорусская – утренний час пик (Замоскворецкая линия) – 20 февраля 2021 года [выполнено автором].



Таблица 7

Результат исследования на участке № 3 от станции метро Бунинская аллея до станции Битцевский парк (Бутовская линия) – 09.02.2021 года [выполнено автором]

| Участок № 3 от станции метро Бунинская аллея до станции Битцевский парк (Бутовская линия) | Количество обнаруженных маршрутов пассажиров | Средняя дальность поездки пассажиров | Среднее время поездки пассажиров |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| 09 февраля 2021 г. – утренний час пик                                                     | 18                                           | 3,9 км                               | 0:05:15                          |
| 10 февраля 2021 г. – утренний час пик                                                     | 23                                           | 3,87 км                              | 0:05:48                          |
| 26 февраля 2021 г. – утренний час пик                                                     | 11                                           | 4,4 км                               | 0:07:14                          |
| Общие средние значения                                                                    | 17,33                                        | 4,06 км                              | 0:06:06                          |

Примечание: По полученным результатам можно сделать вывод, что средняя дальность поездок практически равна половине пути всего участка.

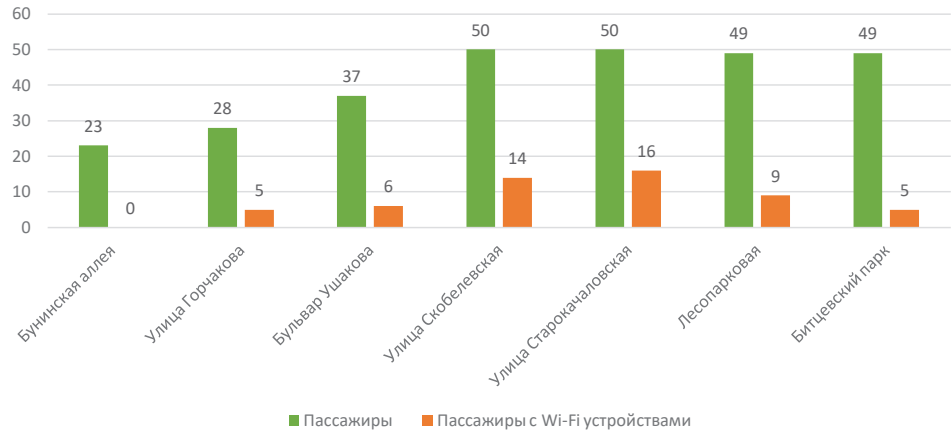


Рис. 15. Соотношение реальных пассажиров с пассажирами с включённым Wi-Fi модулем. Участок № 3 от станции метро Бунинская аллея до станции Битцевский парк (Бутовская линия) – 09.02.2021 года [выполнено автором].

| Бунинская аллея | Улица Горчакова | Бульвар Ушакова | Улица Скобелевская | Улица Старокачаловская | Лесопарковая | Битцевский парк |
|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|------------------------|--------------|-----------------|
| 8:17            | 8:19            | 8:21            | 8:22               | 8:28                   | 8:31         | 8:33            |
| 23              | 28              | 37              | 50                 | 50                     | 49           | 49              |
|                 |                 |                 | 8:23:45            | 8:27:54                |              |                 |
|                 |                 |                 |                    | 8:29:15                | 8:30:33      |                 |
|                 |                 |                 | 8:25:22            | 8:27:51                |              |                 |
|                 | 8:20:34         | 1               | 1                  | 8:28:08                |              |                 |
|                 | 8:20:20         | 1               | 1                  | 1                      | 1            | 8:33:34         |
|                 | 8:20:23         | 1               | 1                  | 8:27:32                |              |                 |
|                 | 8:19:50         | 1               | 8:21:55            |                        |              |                 |
|                 |                 |                 | 8:23:58            | 1                      | 1            | 8:32:48         |
|                 |                 |                 | 8:25:41            | 8:27:53                |              |                 |
|                 | 8:19:58         | 1               | 1                  | 1                      | 8:30:01      |                 |
|                 |                 | 8:20:48         |                    | 8:23:38                |              |                 |
|                 |                 |                 |                    |                        | 8:30:16      | 8:32:19         |
|                 |                 |                 | 8:26:20            | 1                      | 1            | 8:34:05         |
|                 |                 |                 | 8:22:25            | 8:28:06                |              |                 |
|                 |                 |                 | 8:25:18            | 1                      | 8:29:31      |                 |
|                 |                 |                 | 8:23:46            | 1                      | 8:29:12      |                 |
|                 |                 |                 | 8:24:53            | 8:25:46                |              |                 |
|                 |                 |                 |                    | 8:27:49                | 1            | 8:34:30         |

Рис. 16. Маршруты потенциальных пассажиров с включённым модулем Wi-Fi на Участке № 3 от станции метро Бунинская аллея до станции Битцевский парк (Бутовская линия) – 09.02.2021 год [выполнено автором].





Рис. 17. Изображение маршрута № 4. [Электронный ресурс]: [https://yandex.ru/metro/moscow?scheme\\_id=sc34974011/](https://yandex.ru/metro/moscow?scheme_id=sc34974011/). Досмун 10.04.2022.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам исследования были определены главные особенности полученных результатов и сделаны выводы по исследуемому методу сбора и анализа Wi-Fi данных.

1. Расположение Wi-Fi сканера

При проведении исследования Wi-Fi сканер располагался либо на полу вагона (Бутовская линия метро, Замоскворецкая линия метро), либо на верхней полке вагона

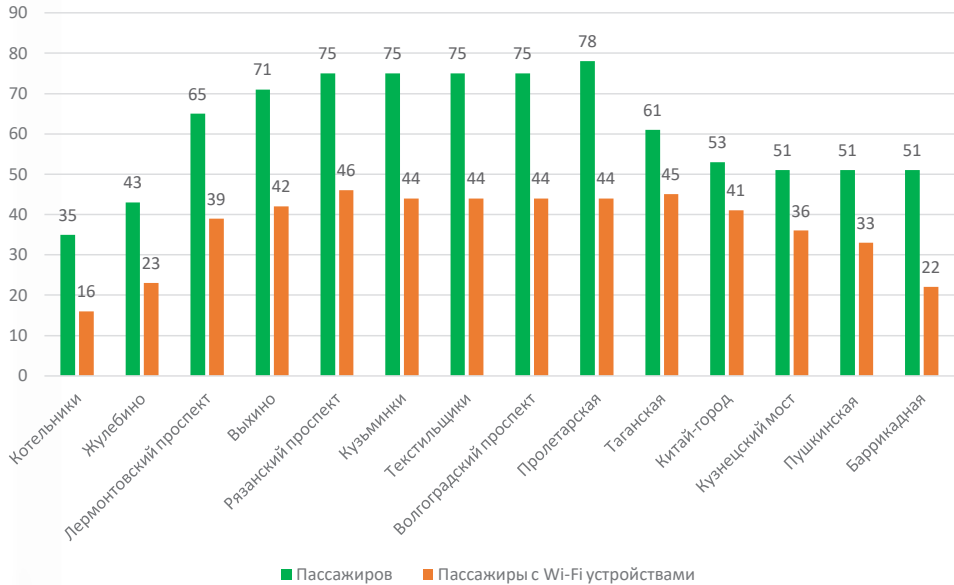


Рис. 18. Соотношение реального числа пассажиров и пассажиров с включённым Wi-Fi модулем. Участок № 4 от станции метро Котельники до станции метро Баррикадная (Таганско-Краснопресненская линия) – 18.05.2021 года [выполнено автором].

| Котельники | Жулебино | Лермонтовский<br>проспект | Выхино  | Разанский<br>проспект | Кузьминки | Текстильщики | Волгоградский<br>проспект | Пролетарская | Таганская | Китай-город | Кузнецкий<br>мост | Пушкинская | Баррикадная |
|------------|----------|---------------------------|---------|-----------------------|-----------|--------------|---------------------------|--------------|-----------|-------------|-------------------|------------|-------------|
| 6:56:00    | 6:59:00  | 7:03:00                   | 7:08:00 | 7:10:00               | 7:13:00   | 7:15:50      | 7:19:30                   | 7:22:00      | 7:24:00   | 7:27:00     | 7:28:20           | 7:30:20    | 7:32:40     |
| 45         | 43       | 65                        | 71      | 75                    | 75        | 75           | 75                        | 78           | 61        | 53          | 51                | 51         | 51          |
| 6:56:25    | 1        | 1                         | 1       | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 1            | 1         | 1           | 1                 | 1          | 7:32:33     |
|            |          | 7:02:31                   | 1       | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 1            | 7:24:07   |             |                   |            |             |
|            |          |                           | 7:07:19 | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 1            | 1         | 1           | 1                 | 7:30:35    |             |
|            |          |                           |         |                       |           |              |                           |              | 7:26:11   | 1           | 1                 | 1          | 7:31:50     |
|            |          |                           |         |                       |           |              |                           |              | 7:25:24   | 1           | 1                 | 7:30:49    |             |
|            | 6:59:36  | 1                         | 7:08:38 |                       |           |              |                           |              |           |             |                   |            |             |
|            |          |                           |         | 7:11:04               | 1         | 1            | 1                         | 1            | 1         | 7:26:40     |                   |            |             |
|            | 6:59:12  | 1                         | 1       | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 1            | 1         | 1           | 1                 | 7:29:35    |             |
|            |          | 7:03:04                   | 1       | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 1            | 1         | 1           | 1                 | 1          | 7:31:01     |
| 6:56:58    | 1        | 1                         | 1       | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 7:22:02      |           |             |                   |            |             |
|            |          |                           |         | 7:09:24               | 1         | 1            | 1                         | 1            | 1         | 1           | 1                 | 1          | 7:33:06     |
|            |          | 7:02:58                   | 1       | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 1            | 1         | 1           | 1                 | 1          | 7:32:50     |
|            |          | 7:03:58                   | 1       | 1                     | 1         | 1            | 7:19:17                   |              |           |             |                   |            |             |
| 6:59:09    | 1        | 1                         | 1       | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 1            | 1         | 1           | 1                 | 1          | 7:32:25     |
|            |          |                           |         | 7:09:23               | 1         | 1            | 1                         | 7:22:23      |           |             |                   |            |             |
|            |          |                           |         |                       |           |              |                           | 7:22:38      | 1         | 7:27:00     |                   |            |             |
|            |          |                           |         |                       |           |              |                           | 7:25:42      | 1         | 1           | 1                 | 1          | 7:32:52     |
|            |          | 7:03:50                   | 1       | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 7:22:08      |           |             |                   |            |             |
| 6:56:04    | 1        | 1                         | 1       | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 1            | 1         | 1           | 1                 | 1          | 7:32:35     |
| 6:56:27    | 1        | 1                         | 1       | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 1            | 1         | 1           | 1                 | 7:29:19    |             |
|            |          |                           |         | 7:12:08               | 1         | 1            | 1                         | 1            | 1         | 7:27:07     |                   |            |             |
|            |          |                           |         |                       |           |              | 7:20:03                   | 1            | 1         | 1           | 1                 | 7:30:17    |             |
|            |          |                           |         | 7:10:26               | 1         | 1            | 1                         | 1            | 1         | 1           | 1                 | 7:30:31    |             |
|            | 7:01:17  | 1                         | 1       | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 1            | 7:24:32   |             |                   |            |             |
|            |          | 7:04:06                   | 1       | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 1            | 7:23:35   |             |                   |            |             |
|            |          |                           | 7:07:06 | 1                     | 1         | 7:14:05      |                           |              |           |             |                   |            |             |
|            |          | 7:03:18                   | 1       | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 1            | 1         | 1           | 1                 | 7:30:07    |             |
|            | 7:00:59  | 1                         | 1       | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 1            | 1         | 1           | 7:27:46           |            |             |
|            |          |                           |         |                       |           |              |                           |              | 7:25:27   | 1           | 1                 | 1          | 7:31:23     |
|            |          | 7:03:47                   | 1       | 7:09:57               |           |              |                           |              |           |             |                   |            |             |
|            |          |                           |         |                       | 7:13:02   | 1            | 1                         | 1            | 1         | 1           | 1                 | 1          | 7:31:51     |
|            |          | 7:04:00                   | 1       | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 1            | 1         | 7:26:55     |                   |            |             |
|            |          |                           |         |                       |           | 7:15:35      | 1                         | 1            | 1         | 1           | 1                 | 1          | 7:31:02     |
|            |          | 7:05:33                   | 1       | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 7:22:08      |           |             |                   |            |             |
|            |          | 7:04:14                   | 1       | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 1            | 1         | 1           | 7:28:33           |            |             |
| 6:57:34    | 1        | 1                         | 1       | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 1            | 1         | 1           | 1                 | 7:30:00    |             |
|            |          |                           |         |                       |           |              |                           |              |           |             |                   | 7:30:22    | 7:32:50     |
|            |          |                           |         |                       |           |              |                           |              |           | 7:27:00     | 1                 | 1          | 7:32:55     |
| 6:57:20    | 1        | 1                         | 1       | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 1            | 1         | 7:25:43     |                   |            |             |
|            |          |                           |         |                       |           |              |                           |              | 7:24:56   | 1           | 1                 | 1          | 7:32:39     |
|            |          | 7:02:48                   | 1       | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 1            | 1         | 1           | 1                 | 1          | 7:32:52     |
| 6:57:10    | 1        | 1                         | 1       | 7:09:45               |           |              |                           |              |           |             |                   |            |             |
|            |          |                           | 7:07:51 | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 1            | 1         | 1           | 1                 | 1          | 7:32:18     |
| 6:56:11    | 1        | 1                         | 1       | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 1            | 1         | 1           | 1                 | 7:29:14    |             |
|            |          | 7:03:18                   | 1       | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 1            | 1         | 1           | 1                 | 1          | 7:31:51     |
|            |          | 7:03:43                   | 1       | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 1            | 1         | 1           | 1                 | 1          | 7:31:03     |
| 6:54:29    | 1        | 1                         | 1       | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 1            | 7:22:53   |             |                   |            |             |
| 6:56:16    | 1        | 1                         | 1       | 1                     | 7:13:05   |              |                           |              |           |             |                   |            |             |
|            |          | 7:02:58                   | 1       | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 1            | 1         | 1           | 1                 | 7:30:07    |             |
| 6:56:15    | 1        | 1                         | 1       | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 1            | 7:25:39   |             |                   |            |             |
| 6:56:32    | 1        | 1                         | 1       | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 1            | 1         | 1           | 1                 | 1          | 7:32:49     |
|            | 7:01:16  | 1                         | 1       | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 1            | 1         | 1           | 7:28:01           |            |             |
| 6:56:40    | 1        | 1                         | 1       | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 1            | 1         | 1           | 7:28:28           |            |             |
|            | 6:58:05  | 1                         | 1       | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 1            | 1         | 1           | 1                 | 7:30:32    |             |
|            | 6:59:13  | 1                         | 1       | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 1            | 1         | 1           | 1                 | 1          | 7:32:19     |
| 6:56:07    | 1        | 1                         | 1       | 7:10:26               |           |              |                           |              |           |             |                   |            |             |
| 6:56:21    | 1        | 1                         | 1       | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 1            | 1         | 1           | 1                 | 1          | 7:32:52     |
|            |          | 7:03:45                   | 1       | 1                     | 1         | 1            | 1                         | 1            | 1         | 1           | 1                 | 1          | 7:32:50     |

Рис. 19. Маршруты пассажиров с включённым модулем Wi-Fi на Участке № 4 от станции метро Котельники до станции метро Баррикадная (Таганско-Краснопресненская линия) – 18.05.2021 года [выполнено автором].

(МЦД-2). Подтверждена информация производителя Wi-Fi роутеров о том, что для более стабильной работы Wi-Fi устройств рекомендуется располагать Wi-Fi устройства на высоте 1–2 метра<sup>8</sup>. Количество обнаруженных

<sup>8</sup> Общие рекомендации по размещению в квартире Интернет-центра Keenetic для стабильной и качественной работы сети Wi-Fi. [Электронный ресурс]: <https://help.keenetic.com/hc/ru/articles/213968849>. Доступ 10.04.2022.

Wi-Fi устройств при расположении Wi-Fi сканера на верхней полке вагона выше, чем при расположении Wi-Fi сканера на полу вагона (табл. 9).

## 2. Наличие/отсутствие внешней антенны

По результатам исследования было выявлено, что наличие внешней антенны значительно увеличивает результат, но при условии



Таблица 8

Результат исследования на участке № 4 от станции метро Котельники до станции метро Баррикадная (Таганско-Краснопресненская линия) – 18.05.2021 года [выполнено автором]

| Участок № 4 от станции метро Котельники до станции метро Баррикадная (Таганско-Краснопресненская линия) | Количество обнаруженных маршрутов пассажиров | Средняя дальность поездки пассажиров | Среднее время поездки пассажиров |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| 17 мая 2021 г. – утренний час пик                                                                       | 26                                           | 11,07 км                             | 0:14:30                          |
| 18 мая 2021 г. – утренний час пик                                                                       | 58                                           | 15,95 км                             | 0:21:31                          |
| 19 мая 2021 г. – утренний час пик                                                                       | 59                                           | 12,47 км                             | 0:18:06                          |
| Общие средние значения                                                                                  | 47,67                                        | 13,16 км                             | 0:18:02                          |

Таблица 9

Сравнительная таблица обработанных Wi-Fi данных [выполнено автором]

|                            | Среднее количество обнаруженных маршрутов пассажиров (ед.) |                      |                 |
|----------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------|
| Расположение Wi-Fi сканера | МЦД-2                                                      | Замоскворецкая линия | Бутовская линия |
| Уровень пола вагона        | –                                                          | 33,33                | 17,33           |
| Верхняя полка вагона       | 57,3                                                       | –                    | –               |

расположения Wi-Fi сканера на верхней полке вагона.

3. Динамический / стационарный Wi-Fi сканер

Показано, что при помощи динамического Wi-Fi сканера возможно получать данные о маршрутах пассажиропотоков, и в частности его свойств, таких как:

- средняя дальность поездки потенциальных пассажиров;
- среднее время пути потенциальных пассажиров.

В данном исследовании использовался один динамический Wi-Fi сканер, но для более высокого результата необходимы стационарные Wi-Fi сканеры. Более того, при расположении Wi-Fi сканеров на выходе и входе из метрополитена и в самих вагонах метрополитена, возможность определения маршрутов потенциальных пассажиров значительно увеличится. Также большую роль будет

иметь накопительный эффект. Если Wi-Fi данных о пассажиропотоках будет больше, появится возможность анализировать полученные данные с дальнейшим их прогнозированием.

Для получения качественного результата о пассажиропотоках требуется внедрение и установка стационарных Wi-Fi сканеров. Одна из потенциальных схем указана на рис. 20.

По вышеуказанной схеме требуется установка одного Wi-Fi сканера на входе в метрополитен или на входе на платформу МЦД, установка по одному Wi-Fi сканеру в каждый вагон метро и установка одного Wi-Fi сканера на выходе из метрополитена или от платформы МЦД. Оснащение дополнительными Wi-Fi сканерами улучшит результаты и позволит собирать и накапливать данные Wi-Fi для их дальнейшей обработки и анализа.



Рис. 20. Схема расположения Wi-Fi сканеров [выполнено автором].

Таблица 10

Результат обработки Wi-Fi данных по всем четырём участкам [выполнено автором]

| Участок | Линия метрополитена              | Длина маршрута (км) | Среднее время прохода всего маршрута | Среднее количество обнаруженных Wi-Fi устройств к реальному количеству пассажиров (%) | Среднее количество потенциальных пассажиров, проехавших практически весь путь (%) | Средняя дальность поездки потенциальных пассажиров (км) | Среднее время пути потенциальных пассажиров |
|---------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1       | МЦД-2                            | 29,2                | 0:48:00                              | 53                                                                                    | 32                                                                                | 13,98                                                   | 0:21:12                                     |
| 2       | Замоскворецкая линия             | 27,9                | 0:41:46                              | 28                                                                                    | 18                                                                                | 9,5                                                     | 0:12:42                                     |
| 3       | Бутовская линия                  | 8,8                 | 0:16:40                              | 21                                                                                    | 8                                                                                 | 4,06                                                    | 0:06:06                                     |
| 4       | Таганско-Краснопресненская линия | 25,1                | 00:38:00                             | 41                                                                                    | 24                                                                                | 13,16                                                   | 0:18:02                                     |

На данный момент на территории Московской агломерации зона Wi-Fi увеличивается из года в год<sup>9</sup>. Данный фактор имеет огромное значение для увеличения возможности получения более качественных Wi-Fi данных и их обработки с целью получения данных о пассажиропотоках.

Более того, Wi-Fi аналитику можно использовать в качестве дополнительного инструмента для анализа пассажиропотоков, наряду с такими как валидация, автоматизированная система мониторинга пассажиропотоков, видеоаналитика и др.

**4. Программа для обработки данных. Рандомизация**

Важнейшим элементом получения результатов данных о пассажиропотоке является обработка данных. Для анализа данных в рамках данного исследования использовались возможности программы Microsoft Excel, но при масштабировании обработки данных программы Microsoft Excel будет недостаточно. Потребуются программы, основанные на языках программирования, таких как Python, My SQL и т.д.

Также в работе была определена «проблема» рандомизации данных. Были сделаны следующие выводы: рандомизация как таковая не мешает обрабатывать полученные данные, так как рандомизация MAC-адресов происходит ни ежеминутно, ни ежедневно, а ежедневно, еженедельно. В рамках периода исследования в течение 1–2 часов рандомизация не влияет на результат.

<sup>9</sup> Московскому Wi-Fi исполнилось семь лет // Москва 24. [Электронный ресурс]: <https://www.m24.ru/news/mehr-Moskvy/27092020/134649>. Доступ 10.04.2022.

**5. Эмпирические результаты**

Промежуточные эмпирические итоги исследования показали, что в среднем 20–45 % от реального количества пассажиров используют определяемые описанными методами Wi-Fi устройства. Это может свидетельствовать о том, что не все пассажиры используют включённый Wi-Fi модуль на Wi-Fi устройстве, кроме того, в раннее время суток многие пассажиры спят, соответственно, выборка получаемых данных снижается и уменьшается число обнаруживаемых маршрутов поездок пассажиров. Но положительным моментом является то, что полученные данные в целом возможно использовать для анализа пассажиропотоков.

В табл. 10 указан результат обработки Wi-Fi данных по всем четырём участкам.

По всем четырём участкам процент среднего количества обнаруженных Wi-Fi устройств к реальному количеству пассажиров составил 35,75 %, а среднее количество пассажиров, проехавших практически весь путь, – 20,5 %.

Существующие технологии позволяют различными методами собирать данные о пассажиропотоках. Но для качественного, то есть близкого к реальному, а не прогнозируемому результату по выборке данных, требуется использование комбинированных систем подсчёта пассажиропотоков, система сбора и анализа всех возможных данных на территории Московского транспортного узла.

Также требуется сбор и анализ Bluetooth-данных, которые в будущем тоже могут дать интересные результаты в области исследования пассажиропотоков.





## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пашина А. С., Кравчук И. С. Инновации в инфраструктуре Московского метрополитена // Сб. трудов конференции «Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки». – М.: Перо, 2019. – С. 330–335. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39227779>. Доступ 10.04.2022.
2. Долматеня Ю. В., Трандина Е. В. Особенности метрополитена, как площадки для организации и развития туристических мероприятий // Санкт-Петербургский государственный экономический университет. – 2019. – С. 135–139. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42476132>. Доступ 10.04.2022.
3. Подхалюзина В. А. Анализ пассажиропотока на наземном общественном транспорте Москвы // Вызовы глобального мира. Вестник ИМТП. – 2015. – № 2 (6). – С. 31–34. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24245177>. Доступ 10.04.2022.
4. Алексеев Н. Ю., Зюзин П. В. Оценка применимости Wi-Fi аналитики в исследованиях пассажиропотоков городского общественного транспорта на примере Москвы // Мир транспорта. – 2021. – № 3 (94). – С. 54–66. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-6>.
5. Петрова Д. В. Современные подходы к организации мониторинга пассажиропотоков общественного транспорта городских агломераций // International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8. – № 1. – С. 47–57. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42340332>. Доступ 10.04.2022.
6. Боровиков А. В. Анализ пассажиропотока городского автобусного маршрута // Международный студенческий научный вестник. – 2019. – № 3. – С. 46. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38318095>. Доступ 10.04.2022.
7. Новиков А. Н., Радченко С. Ю., Севостьянов А. Л. [и др.]. Исследование пассажиропотоков и транспортной подвижности населения в г. Орле // Мир транспорта и технологических машин. – 2011. – С. 69–77. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17280343>. Доступ 10.04.2022.
8. Рубцова К. А. Особенности учёта пассажиропотока на наземном городском пассажирском транспорте общего пользования // Экономика предпринимательства, организация и управление предприятиями, отраслями, комплексами. – 2015. – С. 168–172. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24866446>. Доступ 10.04.2022.
9. Berlingiero, M., Calabrese, F., Lorenzo, G., Nair, R., Pinelli, F., Sbodio, M. AllAboard: A System for Exploring Urban Mobility and Optimizing Public Transport Using Cellphone Data. Mobile phone Data for Development, 2013, pp. 397–411. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-40994-3\\_50](https://doi.org/10.1007/978-3-642-40994-3_50).
10. Намиот Д. Е., Некраплённая М. Н., Покусавев О. Н., Чекмарёв А. Е. Матрицы корреспонденций и анализ пассажирских потоков // International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8. – № 4. – С. 25–30. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42748922>. Доступ 20.09.2022.
11. Поматиллов Ф. С., Намиот Д. Е. Об анализе пассажиропотоков Московского метрополитена // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2019. – Т. 15. – № 2. – С. 375–385. DOI: [10.25559/SITITO.15.201902.375-385](https://doi.org/10.25559/SITITO.15.201902.375-385).
12. Брусаянин Д. А., Вихарев С. В., Попов В. Ю., Горбенко А. А., Шека А. С. Интеллектуальная система мониторинга пассажиропотока транспортного комплекса региона // Инновационный транспорт. – 2012. – № 2 (3). – С. 41–43. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18225474>. Доступ 10.04.2022.
13. Щетинин Н. А., Коряков В. Б., Семикопенко Ю. В. Методика обследования пассажиропотоков // European Journal of Natural History. – 2020. – № 3. – С. 105–108. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43172623>. Доступ 10.04.2022.
14. Степанченко И. В., Крушель Е. Г., Панфилов А. Э., Лютая Т. П. Алгоритм имитации пассажиропотока на остановках транспортной сети мегаполиса // Математические методы в технике и технологиях. – 2019. – Т. 10. – С. 19–23. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41261453>. Доступ 10.04.2022.
15. Сытник Р. А. К вопросу об исследовании пассажиропотока в городских транспортно-логистических системах // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2016. – № 7 (186). – С. 43–48. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26322476>. Доступ 10.04.2022.
16. Янков К. В., Лавриненко П. А., Фадеев М. С. Опыт прогнозирования пассажиропотоков и социально-экономических эффектов при ускорении железнодорожного сообщения в Самаро-Тольяттинской агломерации // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. – 2016. – Т. 14. – С. 622–646. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27633857>. Доступ 10.04.2022.
17. Nakagawa, Y., Nishida, J., Asao, H., Mukoko, B., Tamura, K. Application of AMP Collectors in Nairobi CBD for Transport Planning. Transportation Research Procedia, 2018, Vol. 34, pp. 107–114. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.11.020>.
18. Abedi, N., Bhaskar, A., Chung, E., Miska, M. Assessment of antenna characteristic effects on pedestrian and cyclists travel-time estimation based on Bluetooth and Wi-Fi MAC addresses. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2015, Vol. 60, pp. 124–141. DOI: [10.1016/j.trc.2015.08.010](https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.08.010).
19. Kusakabe, T., Yaginuma, H., Fukuda, D. Estimation of bus passengers' waiting time at a coach terminal with Wi-Fi MAC addresses. Transportation Research Procedia, 2018, Vol. 32, pp. 62–68. DOI: [10.1016/j.trpro.2018.10.012](https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.10.012).
20. Hong, J., Thakuriah, P. Examining the relationship between different urbanization settings, smartphone use to access the Internet and trip frequencies. Journal of Transport Geography, 2018, Vol. 69, pp. 11–18. DOI: [10.1016/j.jtrangeo.2018.04.006](https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.04.006).
21. Oransirikul, T., Nishide, R., Piumarta, I., Takada, H. Measuring Bus Passenger Load by Monitoring Wi-Fi Transmissions from Mobile Devices. Procedia Technology, 2014, Vol. 18, pp. 120–125. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2014.11.023>.
22. Martin, J., Mayberry, T., Donahue, C. [et al]. A Study of MAC Address Randomization in Mobile Devices and when it Fails. US Naval Academy, Proceedings on Privacy Enhancing Technologies, March 2017, 23 p. [Электронный ресурс]: <https://www.semanticscholar.org/reader/abae19306dfe311a2301d4cd015003414513e72a>. Доступ 10.04.2022. DOI: [10.1515/popets-2017-0054](https://doi.org/10.1515/popets-2017-0054). ●

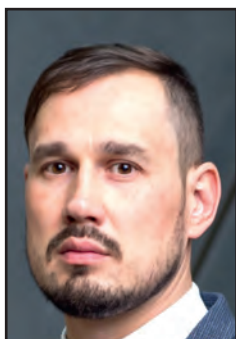
### Информация об авторе:

**Алексеев Николай Юрьевич** – магистр по транспортному планированию НИУ ВШЭ, руководитель проектов АО «Ситроникс», Москва, Россия, [alekseev-tm@mail.ru](mailto:alekseev-tm@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 21.06.2022, одобрена после рецензирования 11.07.2022, принята к публикации 13.09.2022.



## Использование возможностей искусственного интеллекта для выявления повреждённых грузов по внешнему виду упаковки при выполнении логистических операций



Максим МАЛЫШЕВ

*Максим Игоревич Малышев*

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

✉ [dicorus@mail.ru](mailto:dicorus@mail.ru).

### АННОТАЦИЯ

В связи с прогнозируемым в долгосрочной перспективе увеличением объёмов перевозимых грузов, ростом влияния экономических и территориальных факторов на транспортные процессы, усложнением логистических услуг и повышением требований к их качеству, распространением информационных технологий и совершенствованием инструментов искусственного интеллекта предложен перспективный способ распознавания повреждённых грузов по внешнему виду упаковки с помощью обучающейся нейронной сети.

Целью работы является описание принципов использования искусственной нейронной сети для выявления повреждённых грузов по их внешнему виду. Актуальность проблемы подтверждена данными о повреждениях грузов во время транспортировки. В работе применены методы сбора и анализа данных, описания и сравнения существующих и перспективных технологий, наблюдения за процессом грузопереработки и их моделирования, обобщения результатов. Проанализированы распространённые и перспективные методы предупреждения и выявления повреждений грузов. Использованы результаты исследований в области обнаружения дефектов на различных

поверхностях и распознавания знаков и цветов в движении с применением интеллектуальных технологий.

С помощью свёрточной нейронной сети решены проблемы распознавания повреждений на упаковке в сложных и неблагоприятных для машинного зрения условиях. В соответствии с предложенным алгоритмом захват изображения осуществляется со стандартных камер видеонаблюдения. Из введённого в нейронную сеть изображения по характерным признакам выделяются фрагменты, которые проверяются на соответствие паттернам повреждений. В результате анализа контуров повреждений нейросеть признаёт груз повреждённым. В процессе обучения нейросети и интеграции предложенного инструмента по всей цепи поставок обеспечивается распознавание реально повреждённых грузов и исключаются ошибки, связанные с незначительными допустимыми повреждениями и особенностями упаковки. Предложенная концепция не требует установки дополнительного оборудования и не предполагает существенной стоимости услуг распознавания повреждённых грузов. Представлены и описаны процессы видеофиксации грузопотока, загрузки изображения в нейронную сеть и модель распознавания повреждённого груза по внешнему виду упаковок.

**Ключевые слова:** грузовые перевозки, поиск повреждённых грузов, совершенствование логистических процессов, свёрточные нейронные сети, видеофиксация грузопотока, управление цепями поставок, инструменты интеллектуальных транспортных систем.

**Для цитирования:** Малышев М. И. Использование возможностей искусственного интеллекта для выявления повреждённых грузов по внешнему виду упаковки при выполнении логистических операций // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 4 (101). С. 61–72. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-5>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.  
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

## ВВЕДЕНИЕ

Грузопереработка является необходимой составляющей любых производственных процессов и логистической деятельности. Объёмы перевозок грузов увеличиваются при увеличении объёмов производства и продаж товаров. Растёт потребность в качественных логистических услугах.

Перемещение грузов и обмен информацией осуществляются между компаниями, находящимися в разных социально-экономических условиях, существенно удалёнными друг от друга, расположенными в труднодоступных районах или мегаполисах и промышленных центрах, что приводит к усложнению транспортных процессов и повышению вероятности повреждения груза.

Логистическая система создаётся и эксплуатируется для предоставления грузоотправителям и грузополучателям безопасных и эффективных услуг [1].

При этом одним из основных требований, предъявляемых к логистическим компаниям, является надёжность перевозки и транспортных услуг, которая в значительной мере определяется сохранностью перевозимых и складированных грузов [2; 3].

Груз можно считать испорченным в случае изменения в процессе транспортировки его качественных или количественных характеристик. В результате порчи груза наступают негативные последствия для всех лиц, заинтересованных в качественной перевозке.

Для грузополучателей такими негативными последствиями являются ущерб, связанный с утратой грузом товарного вида и полезных свойств, и, как следствие, сбой в бизнес-процессах. Для ответственных за перевозку лиц – это необходимость компенсации грузополучателям убытков, связанных с порчей груза, снижение уровня доверия и вероятный уход клиентов, потеря конкурентных позиций на рынке транспортно-логистических услуг и т.д.

Порча груза в процессе предоставления логистических услуг не только сама по себе является крайне нежелательным событием, но и влечёт дополнительные сложности как для поставщиков услуг, так и для получателей.

В соответствии с нормами права в области транспортировки грузов, при должной упаковке и соблюдении прочих требований со стороны грузоотправителя сразу после принятия и до выдачи грузов обеспечение их

сохранности является обязанностью перевозчика либо лица, ответственного за перевозку, и в обязательном порядке оговаривается в договоре перевозки [4].

Повреждение груза является одной из причин претензий грузовладельцев, связанных с транспортировкой грузов [5].

Перевозчик может не обнаружить повреждения груза и выдать испорченный груз грузополучателю, а получатель может узнать о том, что груз повреждён, уже на своём складе или от своих клиентов. Порча груза в начале цепи поставок может быть выявлена уже в месте применения перевозимого товара.

Получение статистической информации об общем количестве повреждённых в процессе перевозки и выполнения сопутствующих операций грузов и других статистических данных в этой области достаточно затруднено.

При этом об актуальности проблемы повреждения грузов говорит возрастающий спрос на страхование объектов транспортировки, в том числе от повреждения в процессе перевозки и вызванных этим убытков.

Объём мирового рынка логистического страхования ежегодно увеличивается и, по прогнозам, к 2027 году может достигнуть 76 млрд долларов США [6].

Увеличивается и количество страховых случаев, а при перевозках сборных грузов крупные транспортные компании могут по умолчанию включать страховку грузов в тариф на перевозку [7].

Ущерб транспортных компаний от порчи груза по разным причинам в ходе транспортировки может составлять существенную часть от общего размера потери грузов.

В современных научных исследованиях в области эксплуатации транспорта и грузоперевозок просматривается устойчивая тенденция к совершенствованию транспортных и складских процессов путём применения современных технологий, в большинстве своём связанных с цифровизацией системы управления перевозками и транспортной отраслью в целом, а также цифровизацией безопасности перевозок [8].

В результате интеграции современных цифровых технологий в транспортный комплекс возможно осуществлять моделирование процесса перевозок и регулирование транспортных потоков с помощью интеллектуальных систем.

Сами по себе интеллектуальные транспортные системы (ИТС) вместе с такими прорывными технологиями, как Интернет вещей, цифровое управление, облачные сервисы, большие данные, беспилотный транспорт, полностью роботизированные склады и прочими, необходимы для реализации концепций, обеспечивающих ожидаемые в будущем требования к качеству жизни и бизнес-процессам, таких, например, как умные города или абсолютно автоматизированные производства, 3D-производительность и индустрия 4.0.

ИТС должны обеспечивать доставку грузов надлежащего качества, без повреждений, что, в свою очередь, требует создания и использования технологий своевременного обнаружения повреждённых грузов. Концепции умных городов или перевозок, управляемых ИТС, сами по себе не предполагают ни увеличения проблем с повреждёнными грузами, ни значительных затрат на выявление и предотвращение повреждений грузов.

В соответствии с Транспортной стратегией предусмотрен экспериментальный проект на железнодорожном транспорте, который должен обеспечить уменьшение потерь и порчи грузов в десять раз [9]. Это существенное снижение повреждений грузов, но всё же полное исключение вероятности повреждения груза не предполагается даже в долгосрочной перспективе.

С формированием ИТС есть некоторые сложности. Если крупные транспортные и производственные компании имеют ресурсы для внедрения новых цифровых технологий, то перевозчики, не имеющие таких возможностей, не спешат их использовать [10].

Транспортно-логистические компании имеют потенциал предоставления полного набора информационных услуг, в том числе сопутствующих перевозке грузов, удалённо. Однако применение имеющихся технологий в полной мере не осуществляется [11].

Это связано с необходимостью устанавливать дополнительное дорогостоящее оборудование и разрабатывать или приобретать программное обеспечение, что требует существенных вложений и может не дать мгновенного экономического эффекта. По мнению представителей бизнеса, в том числе и в области перевозок, иногда лучше подождать, пока технологии станут доступными.

Таким образом, порча груза во время транспортировки, хранения и выполнения

сопутствующих операций является актуальной проблемой для всех участников транспортно-логистического процесса и экономики в целом. Решать эту проблему необходимо всем компаниям, участвующим в логистическом процессе, причём независимо от размера предприятия.

Наиболее эффективными инструментами для решения фундаментальных транспортных проблем, в том числе задачи существенного снижения порчи грузов и своевременного выявления повреждений в грузопотоке, могут быть технологии искусственного интеллекта и машинного обучения. При этом такие инструменты должны быть доступны абсолютно всем заинтересованным лицам, а значит предполагать использование дешёвых, но достаточно эффективных технологий без дополнительного оборудования.

В условиях усиления охватывающей рынков перевозок глобальной конкуренции и влияния других факторов экономического роста, в том числе ожидаемого распространения эффективных цифровых технологий, структурной перестройки мирового хозяйства и изменения баланса между экономическими центрами, во всём мире возрастут требования к качеству локальных, национальных и международных грузоперевозок и сопутствующего, в том числе логистического, обслуживания грузов. Транспортной отрасли необходима технология, позволяющая с минимальными затратами обеспечить выявление повреждённых грузов до их выдачи получателю.

Целью настоящего исследования является разработка концепции, способствующей созданию такой технологии.

Исходя из того, что требования к надёжности логистической системы, безопасному и эффективному процессу транспортировки являются одними из основных из числа предъявляемых к организаторам и непосредственным исполнителям процесса транспортировки грузов, а данные о страховании грузов свидетельствуют о существенных объёмах повреждённых в процессе перевозки товаров, проблему повреждённых грузов можно считать актуальной. Одним из преобладающих направлений совершенствования транспортных процессов является цифровизация, при этом перспективными инструментами признаны инструменты с использованием возможностей искусственных нейронных сетей.



Задачами исследования являются выявление визуально определяемых повреждений упаковки, описание процессов получения изображения, загрузки в нейросеть и определения повреждений.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование выполнялось в соответствии со следующим алгоритмом.

Проведён обзор и выполнен анализ открытых источников информации (сайтов транспортных компаний, органов государственной власти, тематических изданий и т.д.).

Сделаны выводы о необходимости применения искусственного интеллекта и машинного обучения для решения выявленной проблемы в соответствии с трендами в области науки и техники, в том числе связанными с формированием ИТС и планируемым переходом к интенсивному, инновационному типу развития транспортной отрасли и экономики в целом.

Проанализированы предлагаемые на рынке технические и технологические решения, предназначенные для выявления повреждения упакованного груза без вскрытия упаковки.

Осуществлён обзор научных исследований в области применения технологий искусственного интеллекта в транспортной отрасли и аккумулированы знания из таких направлений машинного обучения, как получение и распознавание изображений объектов реального мира для их визуальной проверки и измерений (машинное зрение), создание искусственной нейронной сети и применяемые для этого инструменты, алгоритмизация нейросетевого обучения и использование методов настройки нейросети.

Предложен принцип применения искусственного интеллекта для выявления повреждённых грузов по внешнему виду упаковки, заключающийся в передаче набору компьютерных программ навыков специалистов, имеющих продолжительный опыт непосредственной работы с различными грузами и способных, основываясь на своём опыте, органолептическим методом по внешнему виду упаковки определять степень сохранности груза и причину повреждения в случае, если таковое имеет место.

Определено, какие повреждения видны по упаковке и как меняется внешний вид упаковки при наличии этих повреждений.

Выполнены описание и графическая интерпретация процесса видеозахвата упакованных грузов, их распознавания, выявления признаков повреждения упаковки и соотношения состояния упаковки с возможным повреждением груза.

## ОБЗОР ПОДХОДОВ К ПРОБЛЕМЕ

Во множестве проведённых исследований в области повреждения грузов проблема порчи и утраты грузов рассматривается в совокупности с проблемами повреждения транспортных средств и транспортных единиц (интермодальной тары), в которых перевозились эти грузы.

В этом случае научные исследования направлены на выявление и исключение основных причин дорожно-транспортных происшествий, а также снижение риска несчастных случаев и потенциальных повреждений путём правильного выбора подвижного состава и маршрута перевозки, мониторинга состояния водителей, выявления их аномального поведения и т.д. Для исключения факторов, приводящих к повреждению транспортных средств, применяются технологии искусственного интеллекта.

В последние годы глубокое обучение нейросети также использовалось для моделирования безопасности дорожного движения [12].

Однако порча груза может быть не связана с повреждением транспортного средства. Во время перевозки значительную часть ущерба составляют повреждения, произошедшие в связи с неправильным расположением и креплением перевозимого груза. В процессе перевозки груз может быть повреждён в результате смещения из-за скольжения по поверхности кузова или раскачивания и переворачивания при вибрации.

Для исключения подобных причин предлагается в процессе погрузки крепить грузы ремнями, канатами, цепями и т.д., и таким образом размещать грузы в кузове, чтобы они оставались заблокированными во время перевозки и не меняли своего положения. При формулировании рекомендаций по безопасному креплению грузов учитываются прочность материалов, из которых изготовлены грузы и упаковка, а также усилие затяжки, прилагаемое в применяемых зажимных устройствах.

Существуют международные и национальные правила крепления грузов на различных видах транспорта, которые не всегда являются обязательными, но содержат достаточно информации и инструкций, способствующих безопасной погрузке и перевозке грузов.

Несмотря на принимаемые меры, повреждения грузов случаются, в связи с чем существует необходимость своевременного выявления повреждений. Из технологических решений проблемы обнаружения повреждённых грузов можно выделить контроль габаритов и веса с помощью системы сканирования (инфракрасного, лазерного и т.д.). Такой контроль осуществляется в момент замера размеров упаковки в трёх измерениях при установке упакованного груза на взвешивающее устройство. Несоответствие фактических параметров размеров упаковки или веса заданным указывает на возможное повреждение груза (рис. 1).

Такая технология требует внесения в память устройства данных о каждом проверяемом грузе и допустимых отклонениях, использования специального оборудования и выполнения дополнительных операций с каждым грузом.

Довольно распространённым способом контроля грузов является бесконтактный анализ содержимого упаковки, например, с помощью рентгенотелевизионного оборудования. Но данный способ применяется, как правило, для выявления определённого вида товаров в общем потоке грузов, а не для обнаружения повреждённых грузов.

Для выявления повреждения грузов могут быть использованы индикаторы сохранности в виде дополнительных этикеток, наклеиваемых на каждую упаковку. Такие этикетки меняют цвет (например, с белого на красный), если упаковка груза, на которой они размещены, подверглась воздействию усилия вследствие удара выше установленного на этикетке порога (перегрузке 5G, 50G и т.д.) или высоких температур, оказалась в слишком влажной среде или опасно отклонилась от вертикального положения и т.п.

Подобные индикаторы могут сигнализировать о возможном повреждении груза, но такое решение опять же требует дополнительной обработки каждой упаковки для нанесения этикетки и контроля состояния индикатора со стороны специалиста.

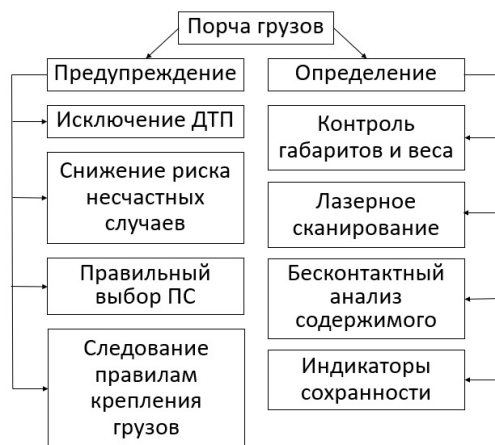


Рис. 1. Существующие методы и технологии предупреждения и определения порчи грузов [составлено автором].

Ни один из распространённых методов даже при предельном усовершенствовании не может быть применим без корректировки процесса перемещения груза, привлечения специалистов, использования специального оборудования или дополнительных материалов, что не соответствует обозначенным в данном исследовании требованиям к разрабатываемой концепции выявления повреждённых грузов.

Однако в области искусственного интеллекта и машинного обучения существуют подходы и методы, совокупное применение которых позволяет разработать технологию, отвечающую таким требованиям.

Решения с использованием искусственного интеллекта и машинного обучения уже зарекомендовали себя в транспортной отрасли. Такие решения более действенны по сравнению со стандартными способами повышения эффективности логистических операций.

Для распознавания повреждённых грузов возможно применять технологии машинного зрения. Однако такие технологии имеют свои нюансы. Машинное зрение может быть недостаточно эффективно в сложных погодных условиях, например, при недостаточном освещении, солнечных бликах или попадании объекта в тень, выпадении атмосферных осадков и т.д., что усложняет обнаружение отклонений внешнего вида упаковки от нормы.

Производительность обнаружения повреждённых грузов может значительно ухудшиться в сложных условиях [13].



Эта проблема устраняется в процессе нейросетевого обучения. Например, на смену автоматическому (ультразвуковому, вихретоковому и др.) контролю железнодорожных рельсов на предмет наличия повреждений может прийти метод обработки изображений свёрточной нейронной сетью.

Результаты экспериментов подтверждают, что предложенные модели могут, например, обнаруживать дефекты поверхности рельса в режиме реального времени и достигать высокой точности обнаружения [14].

В этом случае повреждения могут быть распознаны даже в условиях, неблагоприятных для машинного зрения.

В результате практического применения глубокой свёрточной архитектуры нейронных сетей удалось из видеопотока, полученного с дорожной камеры, распознать цвет наклейки, расположенной на лобовом стекле автомобиля и цифры на ней с точностью от 90 до 98 % [15; 16].

При этом повреждения на объекте контроля возможно обнаружить при его скорости до 100 км/ч.

В процессе разработки системы обнаружения повреждений асфальтового покрытия дороги в режиме реального времени была выявлена взаимозависимость точности определения повреждённых участков дороги и времени на обработку информации.

Пикселизация и сегментация изображений обеспечивает возможность классификации повреждений, но требует больших вычислительных затрат, что может привести к неоптимальной работе в режиме «реального времени» [17].

Применение многомасштабной свёрточной нейронной сети позволяет достичь высокой точности результатов при автоматическом обнаружении трещин на асфальтовом покрытии при сложном фоне [18].

Благодаря модулю повышающей дискретизации функции низкого уровня и функции непрерывной свёртки объединяются для реализации прогнозирования на уровне пикселей.

Объём разработок и практические результаты, представленные в научных исследованиях, позволяют предположить, что на данный момент существуют реальные решения, программные платформы и библиотеки для машинного обучения, компилирующие множество различных алгоритмов и позволяющие

создать программный продукт способный обучить искусственную нейронную сеть выполнять необходимые функции для выявления в грузовом потоке повреждённых грузов [19].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В зависимости от причины повреждения на упаковке остаются различные следы. Учитывая эту особенность, можно сделать предположения о наличии и причине повреждения груза по внешнему виду упаковки.

Удары по упаковке, в том числе в результате повреждения транспортного средства, неправильного крепления грузов, выпадения из кузова и т.д., могут приводить к её деформированию (рис. 2) или разрыву (рис. 3).

В результате воздействия влаги, например, дождя, снега или морской воды при перевозке водным транспортом, остаются характерные следы на упаковке даже после её высыхания (рис. 4).

Другие повреждения, например, вследствие воздействия насекомых или грызунов, плесени, высоких температур, химических веществ и т.д. также оставляют на упаковке особые следы (табл. 1).

Как видно из рис. 2–4 и табл. 1, все повреждения картонной упаковки достаточно хорошо заметны визуально. Следовательно, используя опыт обработки изображений, возможно обучить нейронную сеть распознавать груз и выявлять повреждения на упаковке.

Для компьютерной обработки и распознавания повреждений необходимо получать изображения визуального мира с синхронизированных с нейросетью 2D-видеокамер, установленных в местах погрузочно-разгрузочных операций [20].

Разрешение изображения определяется разрешением камеры. Для детализации объекта контроля и распознавания границ дефектов на упаковке видеокамеры должны снимать видео в достаточно высоком разрешении и передавать изображение без сжатия. Число бит на один пиксель должно быть достаточным для детализации цвета изображения, что обеспечит распознавание контуров повреждения.

Лучше использовать камеру с высоким разрешением, чем разрабатывать и применять сверхразрешающий алгоритм.

Данные рекомендации сделаны исходя из того, что лучше использовать больший объём

памяти для хранения изображения и потратить больше времени на его передачу, чем увеличивать время обработки изображения и распознавания повреждения.

В случае изменения внешних условий, например, ухудшения видимости, нейросеть с большей точностью распознаёт повреждение груза на изображении с более высоким разрешением. Выявлению незначительного, малозаметного повреждения также способствует более высокое разрешение изображения.

Для выявления повреждённой упаковки достаточно изображения, которое можно получить с одной или нескольких камер, установленных на пути груза, перемещаемого при выполнении погрузо-разгрузочных операций (рис. 5).

В случае установки трёх камер, как это показано на рис. 5, и попадания груза в зону их видимости, будут получены изображения правой и левой стороны упаковки с камер «R» и «L» соответственно, фронтальной стороны с камеры «F» и верхней стороны со всех камер («R», «L» и «F»).

Закрытыми для камер остаются задняя «Rear» и нижняя «Under» стороны упаковки. В случае перемещения сложенных друг на друга или паллетированных грузов видимой для камер может остаться лишь одна сторона упаковки. В некоторых случаях упаковка может быть полностью скрыта от камер. В такой ситуации вероятность обнаружения повреждённого груза снижается. Однако повреждения могут быть обнаружены при депаллетизации грузов, если попадут в зону захвата изображения.

Используя методы и алгоритмы поиска объекта в видеопотоке, основанные на глобальных и локальных признаках, напри-



Рис. 2. Деформированная упаковка. [Электронный ресурс]: <https://pravodeneg.net/buhuchet/uchet/primery-izderzhek-proizvodstva.html>. Досмун 17.07.2022.



Рис. 3. Разрывы на упаковке. [Электронный ресурс]: <https://www.bansarchina.com/china-quality-control>. Досмун 17.07.2022.



Рис. 4. Упаковка со следами намокания. [Электронный ресурс]: <https://thegoidat.info/will-recycling-take-wet-cardboard.html>. Досмун 17.07.2022.

мер, цвете или форме, возможно распознать груз (классифицировать объект) по ключевым точкам (ввести изображение в нейронную сеть), как показано на рис. 6. Ключевые точки и образцы выявляемых объектов извлекаются из набора эталонных изображений, хранящихся в библиотеке данных.

Таблица 1

Классификация повреждений картонной упаковки [составлено автором]

| Повреждение             | Вероятные причины      | Возможность визуальной идентификации | Возможна порча груза |
|-------------------------|------------------------|--------------------------------------|----------------------|
| Загрязнение             | Открытый кузов         | Да                                   | Нет                  |
| Разрыв                  | Воздействие усилия     | Да                                   | Да                   |
| Потертости              | Трение                 | Да                                   | Нет                  |
| Химическое воздействие  | Попадание химикатов    | Да                                   | Да                   |
| Термическое воздействие | Перегрев               | Да                                   | Да                   |
| Неоднородность цвета    | Намокание              | Да                                   | Да                   |
| Вмятины                 | Удар                   | Да                                   | Нет                  |
| Нарушение геометрии     | Падение                | Да                                   | Да                   |
| Нарушение пломбы        | Злонамеренные действия | Да                                   | Да                   |
| Нечитаемая маркировка   | Загрязнение            | Да                                   | Нет                  |



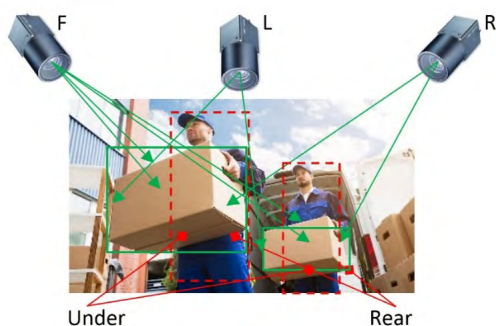


Рис. 5. Видеофиксация грузопотока [составлено автором].

Программная платформа для моделирования нейронной сети, количество слоёв и нейронов в каждом слое, коэффициент допустимого прироста погрешности, максимальное системное время обучения и другие параметры определяются и подбираются в процессе её проектирования и создания.

Входной слой нейронной сети «1» принимает все пиксели изображения. Признаки искомого объекта воспринимаются нейросетью как группа пикселей, представляющих наибольший интерес и анализируемых на соответствие паттернам.

На вычислительных слоях группы «2» осуществляется извлечение признаков через фильтры. По количеству и цвету пикселей определяются размеры и глубина фрагментов.

Нейросеть сопоставляет цвета упаковки в разных точках и контуры мест, отличающихся по цвету, сравнивает с паттернами повреждений.

Объединяющий слой «3» оставляет только нужные изображения имеющих повреждения.

Конечные слои «Final layers» анализируют признаки изображения и классифицируют их по заданному алгоритму. Эти слои состоят из

наборов нейронов, которые представляют части изображения упаковки груза, например, повреждённые участки. Когда достаточное количество нейронов, сигнализирующих о повреждении упаковки, будет активировано, упаковка будет отнесена к классу повреждённых (рис. 7).

Нейронная сеть нуждается в обучении и имеет возможность самосовершенствования в процессе анализа огромного массива данных. При этом осуществляется корректировка изначально заданных случайным образом весов нейронов. Корректировка осуществляется до тех пор, пока результаты не станут приемлемыми и не позволят нейросети функционировать автономно. Контроль процессов обучения и самосовершенствования нейросети возможно осуществлять путём проверки выходных данных.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Порча груза может произойти по различным причинам, например, в результате дорожно-транспортного происшествия, из-за неправильного крепления в транспортном средстве, вследствие ошибок персонала при осуществлении погрузочно-разгрузочных работ или влияния других внешних факторов.

Применяемые технологии обнаружения повреждённых грузов объединяет обязательное присутствие специалиста, осуществление контроля с его стороны и выполнение дополнительных операций с грузом.

В случае, когда повреждение груза сопровождается повреждением упаковки, предположить, что груз повреждён, можно уже по её внешнему виду.

Специалисты, непосредственно выполняющие операции с грузом, с опытом получают навыки, позволяющие им по внешнему

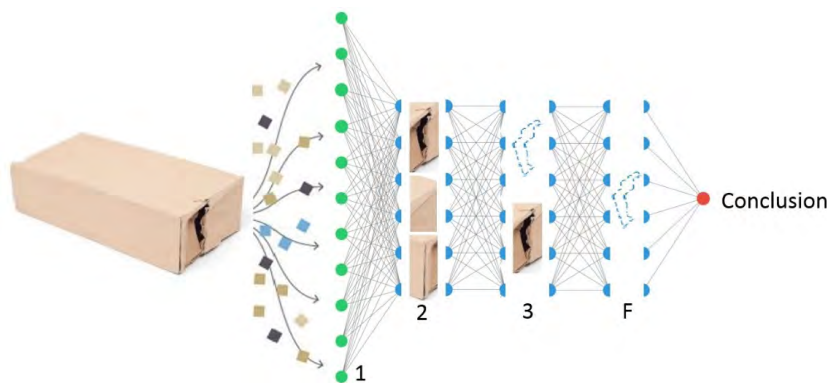


Рис. 6. Загрузка изображения в нейронную сеть и выявление повреждённой упаковки [составлено автором].



Рис. 7. Модель распознавания повреждённого груза искусственной нейронной сетью [составлено автором].

виду упаковки определять, повреждён груз или нет. Однако они не всегда заинтересованы в том, чтобы повреждения были обнаружены, в том числе и потому, что сами могут из-за производственной ошибки повредить груз.

Если накопленный специалистами опыт передать ИТС через обученные нейронные сети, то ИТС будут способны обнаруживать груз и сигнализировать об этом перевозчику или другим заинтересованным участникам логистического процесса. Повреждения упаковки бывают незначительными, и груз в этом случае остаётся неповреждённым, например, как показано на рис. 2. При обучении нейросети возможно таким образом настроить веса нейронов, чтобы значение, установленное в пределах от 0 до 1, позволяло не идентифицировать грузы, упаковка которых незначительно повреждена, как вероятно испорченные.

Упаковка грузов может выполнять различные функции. К одним из основных функций относится обеспечение сохранности товаров и оптимизация транспортных процессов. В рамках настоящего исследования упаковка может дополнить набор информационных функций, подтверждая сохранность груза или своевременно предупреждая о вероятном повреждении.

Для определения тары, по внешнему виду которой предпочтительнее выявлять повреждённые грузы, упаковку можно разделить по назначению на дополнительную внешнюю, транспортную и потребительскую.

Потребительская упаковка должна сохранять изначальный внешний вид, так как играет важную информационную и эстетическую роль и переходит в собственность покупателя вместе с товаром. Иногда потребительская упаковка не может быть отделена от товара. Некоторые товары, например, продукты, запрещено реализовывать в случае нарушения герметичности потребительской упаковки.

Цифровая интеллектуальная экспертная система сможет сделать выводы о повреждении груза, если повреждённая упаковка попала в зону видимости. Потребительская упаковка в процессе транспортировки может быть скрыта транспортной упаковкой, в связи с чем её распознавание затруднено.

К дополнительной внешней упаковке относится крупногабаритная тара, например, интермодальные контейнеры, обрешётка, выполняемая по индивидуальным размерам перевозимого товара, поддоны для перемещения грузов вилочными погрузчиками и другие варианты упаковки, защищающие грузы от воздействия внешней агрессивной среды и оптимизирующие транспортные, погрузо-разгрузочные и складские процессы.

В связи с тем, что дополнительная внешняя упаковка в процессе эксплуатации приобретает изношенный вид без потери способности выполнять основные функции и не позволяет визуально предположить состояние находящихся внутри грузов, она не является предпочтительной для распознавания повреждений.

При этом, если имеются существенные визуально заметные повреждения внешней упаковки, например, деформация или следы затопления интермодального контейнера, химического или термического воздействия на упаковочную плёнку паллетированных грузов, то такие повреждения могут быть распознаны, и находящийся внутри груз может быть признан вероятно повреждённым.

Транспортная упаковка представляет собой оболочку для транспортировки товаров и защиты от повреждений. В транспортной упаковке может находиться один или несколько товаров. В отличие от потребительской и внешней упаковки, товар упаковывается в транспортную упаковку на завершающей стадии производства, в пункте отправления, но сама упаковка не передаётся конечному покупателю.



Транспортная упаковка может быть различных размеров, форм и конструкций, выполняется из деревянных материалов, металла, бумаги и гофрокартона, полимеров, стекла и других материалов. Одним из самых популярных видов транспортной тары являются различные виды картонной упаковки.

Несмотря на то, что возможности системы распознавания повреждений грузов по внешнему виду упаковки позволяют выявить любой повреждённый груз, если повреждения визуально заметны, настоящее исследование ориентировано именно на распознавание повреждённой картонной упаковки правильной формы.

Транспортная упаковка может состоять из внешнего корпуса и внутренних крышек, вставок, вкладышей, наполнителей, амортизирующих прокладок и других элементов. Вследствие защитных функций и особенностей конструкции транспортной упаковки её повреждение не всегда приводит к повреждению груза.

Таким образом, повреждения упаковки можно разделить на свидетельствующие о повреждении груза, требующие дополнительной проверки и не предполагающие повреждения.

Специалисты, непосредственно выполняющие погрузо-разгрузочные работы, с опытом учатся относить повреждения упаковки к одному из трёх видов, исходя из состояния повреждений. Передать эти навыки интеллектуально экспертной системе возможно, определив или установив критерии повреждений упаковки, свидетельствующие о вероятном повреждении груза.

Такими параметрами, например, для идентификации повреждений в результате воздействия внешних сил на картонную упаковку, могут быть длина и ширина разрыва, глубина вмятины, площадь намокания, значение деформации (рис. 8).

При разрыве упаковки длина  $l_1$  будет указывать на высокую вероятность повреждения груза внутри упаковки, длина  $l_2$  – на необходимость дополнительной проверки, длина  $l_3$  не предполагает повреждения груза (рис. 8а).

В случае деформации упаковки соотношение высот  $h_1$  и  $h_2$  укажет на повреждение груза, соотношение высот  $h_3$  и  $h_4$  – на необходимость дополнительной проверки, соот-

ношение высот  $h_5$  и  $h_6$  – на отсутствие повреждения груза (рис. 8б).

При намокании упаковки площадь пятна  $s_1$  укажет на повреждение груза, площадь  $s_2$  – на необходимость дополнительной проверки, площадь  $s_3$  – на отсутствие повреждения (рис. 8в).

Предельные значения параметров  $l$ ,  $h$  и  $s$  устанавливаются опытным путём, затем настраиваются в процессе накопления нейросетью данных о повреждениях упаковки, свидетельствующих о повреждении грузов, и становятся характеристиками паттернов повреждений.

По результатам проведения в течение одного года экспертной оценки повреждений грузов, перевозимых в картонной упаковке с угловыми вставками из вспененного материала и дополнительно упакованных в потребительскую полиэтиленовую упаковку, выявлено, что при разрывах упаковки более 15 сантиметров в 80 % случаев груз оказывался повреждён. При разрывах менее 15 сантиметров в 90 % случаев груз оставался целым. При намокании более 30 % площади упаковки на грузе также обнаруживались следы воздействия влаги.

При наличии внутренней упаковки, в зависимости от её вида, повреждение внешней упаковки, свидетельствующее о повреждении груза, может быть отнесено к повреждению упаковки, требующему дополнительной проверки или к не предполагающему повреждение груза.

Вследствие того, что путём визуального осмотра, за исключением очевидных случаев, невозможно доподлинно установить, повреждён груз или нет, повреждённая упаковка указывает лишь на вероятность повреждения. Состояние груза в повреждённой упаковке требует дополнительной проверки, как и в случае обнаружения повреждённой упаковки специалистом, выполняющим погрузо-разгрузочные работы.

В процессе накопления опыта нейросеть научится распознавать едва заметные повреждения груза и незначительную деформацию.

Это будет способствовать повышению качества всего процесса транспортировки грузов, так как исключить даже малейшее изменение внешнего вида упаковки возможно только путём совершенствования процесса перевозки и выполнения сопутствующих операций с гру-

зом. Своевременное, до передачи грузополучателю, распознавание повреждённой упаковки способствует повышению эффективности всех транспортных процессов логистической компании.

В некоторых случаях нейросеть вынуждена будет распознать упаковку, которая имеет искусственные признаки повреждения как повреждённую. Например, когда нижняя часть упаковки имеет рисунок, схожий со следами намокания. Эта задача решается синхронизацией с изображением упаковки, полученным при погрузке в месте производства товара, что в свою очередь потребует внедрения соответствующих технологий по всей цепи поставок и интеграции нейросетевых систем в единую ИТС.

Внедрение ИТС, способной распознавать повреждённый груз не только при его выдаче, но и во всех местах перевалки и при погрузке, позволит определить, на каком этапе логистического процесса груз был повреждён.

В случае, если груз в упаковке был испорчен не в процессе перевозки, предложенная концепция позволяет исключить вину перевозчика и подтвердить качественную транспортировку.

Предложенная концепция позволяет не устанавливать новое дорогостоящее оборудование. Помимо камер видеонаблюдения, которые уже могли быть установлены в местах выполнения грузовых операций, необходимы лишь устройства для функционирования нейросети.

Кроме того, появится возможность собирать и обрабатывать большие статистические данные о местах и причинах повреждения груза, что может способствовать существенному изменению ситуации с порчей грузов во время перевозки и выполнения грузовых операций.

Научная эффективность настоящего исследования заключается в приросте знаний в области выявления повреждённых грузов по внешнему виду упаковки в процессе выполнения логистических операций посредством использования возможностей машинного зрения и свёрточных нейронных сетей.

Технологическая эффективность предлагаемого метода может быть определена через сравнительный анализ скорости выполнения операций контроля состояния груза и уровня необходимой квалификации персонала ком-



Рис. 8. Параметры поврежденной упаковки [составлено автором].

паний цепи поставок. Данные показатели положительно характеризуют предложенный метод по сравнению с другими.

Оценка экономической эффективности предлагаемого метода возможна с использованием качественных и количественных показателей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящее исследование продемонстрировало возможность выявления повреждённых грузов по внешнему виду их упаковки с помощью искусственных нейронных сетей.

Предложенная концепция основывается на технологиях, позволяющих обучить нейросеть распознавать повреждённые грузы так, как это делает человек, специалист в данной области, на основе своих знаний и опыта. Такой подход к выявлению испорченных грузов и причин повреждения на данный момент массово не применяется.

Направление настоящего исследования соответствует общим тенденциям развития грузовых перевозок и логистических процессов с использованием инструментов, признанных прогрессивными преимущественной частью научного сообщества.

В результате обзора существующих разработок в области распознавания различных объектов, в том числе сложной формы, малых размеров и удалённых от средств фиксации изображения, сделаны выводы о целесообразности применения сверхточных нейронных





сетей для обучения ИТС распознаванию упаковки, даже незначительно изменившей внешний вид.

В процессе исследования также описаны характерные признаки некоторых поврежденных.

В результате исследования сформулирована идея применения инструментов искусственного интеллекта для распознавания поврежденного груза по внешнему виду упаковки.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Sezer, A. A., Fredriksson, A. Paving the Path towards Efficient Construction Logistics by Revealing the Current Practice and Issues. *Logistics*, 2021, Vol. 5, Iss. 3, p. 53. DOI: <https://doi.org/10.3390/logistics5030053>.
2. Roth, M., Klarmann, A., Franczyk, B. Future Logistics – Challenges, Requirements and Solutions for Logistics Networks. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 2013, Vol. 7, Iss. 10, pp. 898–903. [Электронный ресурс]: [https://www.researchgate.net/publication/260401798\\_Future\\_Logistics\\_-\\_Challenges\\_Requirements\\_and\\_Solutions\\_for\\_Logistics\\_Networks](https://www.researchgate.net/publication/260401798_Future_Logistics_-_Challenges_Requirements_and_Solutions_for_Logistics_Networks). Доступ 17.06.2022.
3. He, Yi; Sun, Changxin; Huang, Helai; Jiang, Liang; Ma, Ming; Wang, Pei; Wu, Chaozhong. Safety of micro-mobility: Riders' psychological factors and risky behaviors of cargo TTWs in China. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2021, Vol. 80, pp. 189–202. DOI: 10.1016/j.trf.2021.04.001.
4. Козорезова О. Н. Ответственность перевозчика за несохранность груза по договору перевозки железнодорожным транспортом // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2021. – № 2–9. – С. 137–140. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44878063>. Доступ 17.06.2022.
5. Горбурков В. Транспортная логистика. Правила профессионалов. – Литрес, 2022. – 330 с. ISBN 978-5-4493-9452-1.
6. StrategyR Influencer Driven. *Logistics Insurance World Market Report. Highlights & Report Index*. [Электронный ресурс]: <https://www.strategyr.com/market-report-logistics-insurance-forecasts-global-industry-analysts-inc>. Доступ 17.06.2022.
7. Бусел А. А. Объект страхования как существенное условие договора транспортного страхования грузов // Вестник Полоцкого государственного университета, серия Д. Экономические и юридические науки. – 2021. – Т. 1. – № 6. – С. 160–164. [Электронный ресурс]: <https://elib.psu.by/handle/123456789/24342>. Доступ 17.06.2022.
8. De Andres Gonzalez, O., Koivisto, H., Mustonen, J., Keinänen-Toivola, M. Digitalization in Just-In-Time Approach as a Sustainable Solution for Maritime Logistics in the Baltic Sea Region. *Sustainability*, 2021, Vol. 13 (3), pp. 1173. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13031173>.
9. Захаров С. В. Теоретические подходы к формированию методики и инструментов анализа государствен-

ной политики транспортной системы. – Ростов-на-Дону: ООО «Форвардер», 2021. – № 22. – С. 62–69. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5115680>.

10. Малышев М. И. Инновационные инструменты обеспечения омниканальности в управлении цепями поставок // Технологии информационного общества: Сб. трудов XVI Международной отраслевой науч.-техн. конференции, Москва, 02–03 марта 2022 года. – М.: ООО «Издательский дом Медиа пাবлিশер», 2022. – С. 256–258.

11. Holubčík, M., Koman, G., Soviar, J. Industry 4.0 in Logistics Operations. *Transportation Research Procedia*, 2021, Vol. 53, pp. 282–288. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.040>.

12. Singh, R., Sharma, R., Akram, S. V., Gehlot, A., Buddhi, D., Malik, P. K., Arya, R. Highway 4.0: Digitalization of highways for vulnerable road safety development with intelligent IoT sensors and machine learning. *Safety Science*, 2021, Vol. 143, pp. 105407. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105407>.

13. He, Yunze; Deng, Baoyuan; Wang, Hongjin; Cheng, Liang; Zhou, Ke; Cai, Siyuan; Ciampa, F. Infrared machine vision and infrared thermography with deep learning: A review. *Infrared Physics & Technology*, 2021, Vol. 116 (2), pp. 103754. DOI: 10.1016/j.infrared.2021.103754.

14. Jiang, Hua Feng; Hao, Yuan; Yun, Qing Hu; Jun, Lin; Shi, Wang Liu; Xiao, Luo. Research on deep learning method for rail surface defect detection. *IET Electrical Systems in Transportation*, 2020, Vol. 10, No. 4, pp. 436–442. DOI: <https://doi.org/10.1049/iet-est.2020.0041>. [Электронный ресурс]: <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1049/iet-est.2020.0041>. Доступ 17.06.2022.

15. Kherraki, A., Ouazzani, R. El. Deep convolutional neural networks architecture for an efficient emergency vehicle classification in real-time traffic monitoring. *IAES International Journal of Artificial Intelligence (IJ-AI)*, 2022, Vol. 11, Iss. 1. DOI: <http://doi.org/10.11591/ijai.v11.i1.pp110-120>.

16. Yépez, J., Castro-Zunti, R., Cho, Y., Seok-Bum, Ko [et al]. Real-time CVSA decals recognition system using deep convolutional neural network architectures. *IET Intelligent Transport Systems*, 2021, Vol. 15, Iss. 11, pp. 1359–1371. DOI: <https://doi.org/10.1049/itr2.12103>.

17. Uspenskiy, I. A., Yukhin, I. A., Ryabchikov, D., Rembalovich, G. K. Development and testing of a conveyor for detecting various types of vehicles when transporting agricultural products from the field. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2020, Vol. 832, Iss. 1, pp. 012059. DOI: 10.1088/1757-899X/832/1/012059.

18. Song, Weidong; Jia, Guohui; Zhu, Hong; Jia, Di; Gao, Lin. Automated Pavement Crack Damage Detection Using Deep Multiscale Convolutional Features. *Journal of Advanced Transportation*, 2020, Vol. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/6412562>.

19. Малышев М. И. Обзор исследований в области повышения эффективности мультимодальных перевозок на основе технологических решений // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2020. – Т. 23. – № 4. – С. 58–71. DOI: 10.26467/2079-0619-2020-23-4-58-71.

20. Raut, R., Krit, S., Chatterjee, P. *Machine Vision for Industry 4.0: Applications and Case Studies*. CRC Press, 2022, 322 p. ISBN 9780367637125.

### Информация об авторе:

**Малышев Максим Игорьевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры менеджмента Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва, Россия, [dicorus@mail.ru](mailto:dicorus@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 18.07.2022, одобрена после рецензирования 06.09.2022, принята к публикации 08.09.2022.



# Технология блокчейн в цепочках поставок транспортных узлов в Китайской Народной Республике



**Бинчжан Ли**

*Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия /  
Цзинань, провинция Шаньдун, Китайская Народная Республика.*

✉ [rupa666.6@mail.ru](mailto:rupa666.6@mail.ru).

Бинчжан ЛИ

## АННОТАЦИЯ

Эффективные грузовые перевозки в крупных транспортных узлах и управление ими имеют решающее значение для мировой торговли. Существующие системы организации грузовых перевозок не обеспечивают прослеживаемость, прозрачность, информационную безопасность и неизменность данных, хранящихся и обменивающихся в ходе различных операционных процессов. В результате это негативно сказывается на производительности транспортных узлов.

Использование цифровых приложений информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в транспортной отрасли может привести к высокой автоматизации процессов и более экономичным решениям. Грузовые перевозки требуют использования обмена данными в режиме реального времени между различными участниками в процессе заинтересованными сторонами. Традиционные логистические системы на базе ИКТ используют централизованную архитектуру для размещения и обработки данных и услуг. Однако централизованные логистические системы не могут обеспечить безопасный доступ к данным в режиме реального времени, оперативную видимость и доверие между участвующими организациями.

Автоматизация различных функций транспортных узлов с помощью Интернета вещей (IoT) и облачных вычислений может адекватно повысить производительность операций транспортного узла. Эти операции включают автоматизацию интерфейса транспортных средств, контейнерных площадок, внутрипортовой логистики и пункта приёма терминала.

Целью исследования является повышение эффективности организационно-функциональной деятельности транспортных узлов посредством цифровизации. Значимыми являются методы применения комплексного подхода, сочетающего определение целесообразности участия портового объекта в обслуживании грузопотока с точки зрения доставки «точно в срок» и экономической целесообразности участия объекта в канале грузопотоков в целях экономии эксплуатационных расходов. Рассмотрены возможности для улучшения процесса путём интеграции информационного обмена между различными участниками с использованием сквозных технологий в транспортных узлах, в частности, концепции блокчейн, для оптимизации операций путём интеграции и обмена информацией между участниками процесса перевозки.

**Ключевые слова:** грузовые перевозки, блокчейн, интеллектуальные транспортные системы, Интернет вещей, смарт-контракт, сквозные технологии, транспортный узел.

*Для цитирования:* Ли Бинчжан. Технология блокчейн в цепочках поставок транспортных узлов в Китайской Народной Республике // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 4 (101). С. 73–85. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-6>.

**Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.  
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.**

## ВВЕДЕНИЕ

Переход Китая к экономике, ориентированной на потребление, в сочетании с улучшением доступности внутренних регионов, перенаправил внимание транспортной отрасли от внешней ориентации к удовлетворению потребностей новых внутренних рынков. На таком большом и разнообразном рынке многие транспортные компании добились успеха, экспериментируя и находя свою нишу. Сложность рынка приводит к тому, что крупнейшие операторы с оптимизированными процессами и более адаптируемыми и масштабируемыми бизнес-моделями оказываются в ещё более выгодном положении [1].

По мере роста внутренних потребительских рынков и расширения инвестиций в новые внутренние регионы, транспортная и логистическая инфраструктура Китая сталкивается с новыми проблемами и новым вниманием со стороны бизнеса и государственных органов. Высокие темпы экономического роста Китая, стимулируя спрос на логистические услуги, также создают проблемы для логистических операторов.

По мере того, как в стране будут развиваться сфера услуг и высокотехнологичные отрасли, компаниям потребуется более мощная логистическая поддержка для повышения эффективности их работы. В свою очередь, это потребует более совершенных методов управления, более широкого использования информационных технологий и систем, способных интегрировать и контролировать перемещение товаров и материалов в цепочках поставок как внутри страны, так и за её пределами. Особое внимание уделяется работе транспортных узлов, где перерабатываются материальные потоки при переходе с одного вида транспорта на другой.

Портовая инфраструктура крупных транспортных узлов Китая страдает от ряда недостатков с точки зрения эффективности и обслуживания [2]. Во-первых, на материковых причалах в среднем выполняется от 22 до 27 перемещений крана в час по сравнению с 30 в час в Гонконге. Во-вторых, часто возникают «узкие места», поскольку контейнеры медленно перегружаются из порта на другие виды транспорта, что часто требует, как минимум, двух перемещений крана для каждой операции. Бюрократия является третьей проблемой, препятствующей эффективности. Судоводные компании должны получать раз-

решения от таможни, Государственного управления по надзору за качеством, инспекции по карантину, Государственного управления по валютным операциям и других государственных органов. В-четвёртых, потери грузов в Китае выше, чем в Гонконге или Сингапуре, из-за краж и повреждений. Наконец, судоводство всё ещё остаётся относительно ограниченным сектором, иностранным компаниям разрешено иметь лишь миноритарную долю в китайских портовых мощностях.

Поскольку ни нехватка барж, ни перегруженность водных путей не представляют серьёзных проблем, правительство КНР стремится модернизировать инфраструктуру водного транспорта. В настоящее время в Китае насчитывается более 1200 портов, предлагающих причалы для 33 000 судов, включая 800 глубоководных причалов, способных принимать суда грузоподъёмностью 10 000 тонн. На 2025 год запланировано значительное увеличение мощностей по перевалке контейнеров. Государственные органы КНР вступили в переговоры с международными судоводными компаниями и взяли на себя обязательство разработать правила, требующие от судоводных линий предоставления информации о ставках фрахта. Всё это признаки повышения прозрачности в отрасли.

Правительство КНР также использует иностранный интерес к строительству портов. Администрация порта Шанхай уже начала работу над 20-летним проектом стоимостью 14,5 млрд. долларов США, который предусматривает строительство 52 причалов вдоль 13-километровой набережной для судов с осадкой не менее 15 метров в глубоководном порту Яншань. Проектированием контейнерного терминала на материке занимается компания Hamburg Port Consulting, дочерняя компания немецкой группы Hamburger Hafen und Lagerhaus-AG [2].

Стать глобальным оператором транспортных узлов – это видение Шанхайского порта, а дальнейшее развитие порта с одновременной экспансией в мир – это основная стратегия Шанхайского порта. Шанхайский порт сфокусировался на двух аспектах стратегии развития – аппаратном и программном, и это позволит сделать порт более конкурентоспособным. Для этого необходимо сосредоточиться на операционных и управленческих

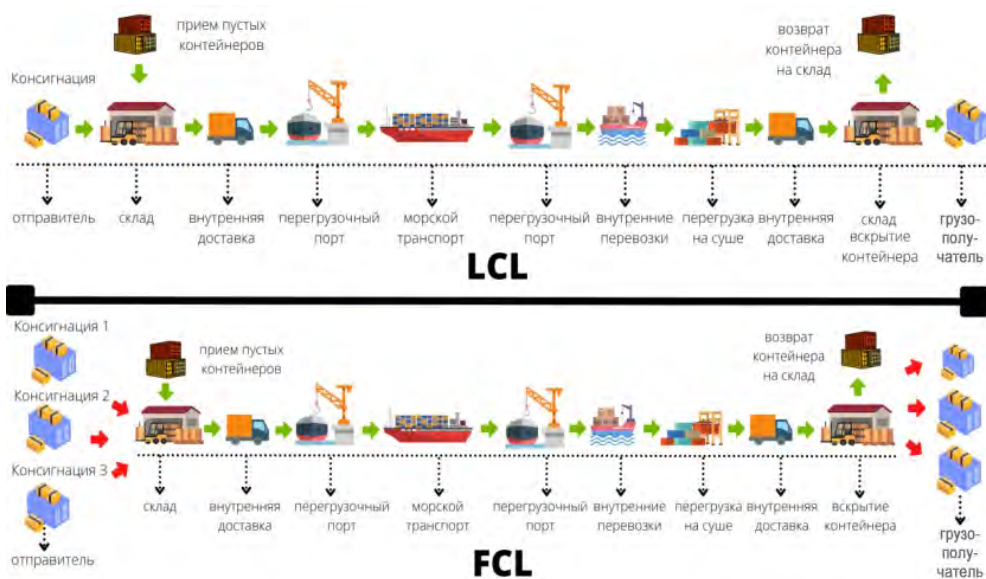


Рис. 1. Виды импортно-экспортных операций в транспортном узле [выполнено автором].

аспектах, таких как ИТ-коммуникации, система EDI, маркетинг порта, политика интернализации для привлечения потенциальных пользователей порта. Транспортный узел – это место стыковки двух и более видов транспорта, технологическое взаимодействие которых обеспечивается соответствующим комплексом устройств и средств, а также организационными мерами [3].

Сегодня сеть цепей поставок хорошо интегрирована с такими информационными технологиями, как планирование ресурсов предприятия (ERP), RFID, GPS, сенсорные технологии, видеотехнологии и технология штрих-кодов. Однако в большинстве случаев эти технологии работают изолированно и не связаны между собой. Чтобы преодолеть вышеупомянутые проблемы, работу транспортного узла можно радикально улучшить с помощью цифровизации и, в частности, внедрения технологии блокчейн.

Быстрорастущие темпы мировой торговли нуждаются в экономически эффективных, быстрых и высоконадёжных портовых операциях и системах управления грузовыми перевозками. Использование цифровых приложений информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в транспортной отрасли потенциально может привести к высокой автоматизации процессов и более экономичным решениям [4].

Грузовые перевозки в транспортных узлах требуют использования обмена данными

в режиме реального времени между различными участвующими в процессе заинтересованными сторонами. Это важно, особенно во время перевозок в интермодальных транспортных узлах, для более эффективного использования ресурсов и инфраструктуры. Традиционные портовые логистические системы на базе ИКТ используют централизованную архитектуру для размещения и обработки данных. Однако централизованные логистические системы не могут обеспечить безопасный доступ к данным в режиме реального времени, оперативность, прослеживаемость и доверие между участвующими организациями.

Тесная координация заинтересованных сторон, участвующих в логистической цепи транспортного узла, способствует рационализации процессов планирования грузовых перевозок. Следовательно, она может обеспечить эффективность за счёт сокращения общего времени оборота транспортного средства в транспортном узле. Эффективное планирование грузовых перевозок и принятие решений также требуют безопасного и прозрачного информационного потока между различными участниками процесса. Эти операции включают автоматизацию интерфейса транспортных средств, контейнерных площадок, внутрипортовой логистики.

С ростом международной торговли и развитием экономики, объём контейнерных перевозок в портах Китая стремительно растёт.





Рис. 2. Структура данных блокчейна [выполнено автором].

FCL и LCL – два термина, которые используются в сфере импортно-экспортных операций при морских грузоперевозках. Если грузополучатель располагает большой партией товаров, которая займёт целый контейнер, то он резервирует FCL. Аббревиатура расшифровывается как «Full Container Load», что в переводе означает «полная загрузка контейнера». FCL принадлежит одному грузополучателю. Даже при частичной загрузке и принадлежности одному заказчику груз будет считаться FCL [4].

Если объём партии товаров не может занять весь контейнер, грузополучатель резервирует только место в общем контейнере. В таком контейнере перевозятся грузы других грузополучателей, которые платят не за весь контейнер, а только за место. Это называется доставкой LCL – английская аббревиатура, которая расшифровывается как «Less Than Container Load», «неполная загрузка контейнера» или «консолидированный контейнер». LCL дешевле, чем FCL. Имеет смысл заказывать LCL при доставке небольших грузов и партий товаров. Бизнес-процессы в сфере перевозок с меньшей загрузкой контейнеров (LCL) в большинстве портов Китая по-прежнему остаются сложными и неэффективными.

**Блокчейн** – это структура данных, которая представляет собой запись в бухгалтерской книге или запись о транзакции. Каждая транзакция подписывается цифровой подписью для обеспечения её подлинности. Это обеспечивает целостность бухгалтерской книги и существующих транзакций [5; 6]. Эти записи цифровой бухгалтерской книги затем распределяются между несколькими компьютерами или серверами, каждый из которых выступает в качестве узла. Эти дополнительные узлы и уровни инфраструктуры служат для обеспечения консенсуса относительно состояния транзакции в любую секунду; все они имеют копии всей существующей аутен-

тифицированной бухгалтерской книги, распределённой между ними.

Блокчейн использует криптографию, чтобы гарантировать, что, если в блок будут внесены какие-либо изменения, пользователи смогут мгновенно заметить эти изменения [7]. Это свойство делает блокчейн идеальной структурой данных для хранения записей.

Как следует из названия, блокчейн состоит из цепочки блоков. Каждый блок состоит из данных записей транзакций и соответствующей информации, содержащейся в каждой транзакции. Каждая транзакция имеет метку времени, связанную с тем, когда она была записана в цепочку блоков. Последующие блоки требуют идентификатора (или хэша) предыдущего блока, и это ссылка, которая связывает все блоки вместе (рис. 2).

Преимущества блокчейна перед существующими системами очевидны. В блокчейне генерируется единый источник данных благодаря децентрализации по сравнению с существующими системами, которые в основном централизованы. Кроме того, блокчейн обеспечивает повышенный уровень безопасности, поскольку данные неизменяемы. В существующих системах данные в основном проверяются извне (например, посредством аудита), в то время как в блокчейне внешняя проверка не требуется. Данные в блокчейне имеют отметку даты и времени, которая служит доказательством подтверждения. Все эти транзакции хранятся онлайн в блоках. Данная технология применяется в криптовалютах. Например, в блокчейне биткоина Сатоши (Bitcoin Satoshi) блоки содержат информацию о транзакциях в биткоине [8]. В блоке указано, кто и кому отправляет биткоины.

Поскольку в блокчейне отслеживается движение всех биткоинов с момента их создания, по бухгалтерской книге можно проверить, кому именно принадлежит тот или иной биткоин в любой момент времени. Этот ме-

ханизм владения, который помогает отслеживать биткойны, называется текущим «состоянием» блокчейна. Транзакция происходит только тогда, когда она добавляется в блок. По мере добавления новых блоков состояние блокчейна обновляется. Поскольку все транзакции обновляются в блокчейне, пользователь может в любой момент получить доступ к блокчейну и посмотреть, какие транзакции были совершены [9; 10].

Блокчейн – это новая революционная технология, которая облегчает одноранговую P2P (англ. peer-to-peer, P2P – равный к равному) передачу ценностей без необходимости в централизованном посреднике [11]. Технология блокчейн в паре со смарт-контрактами – это надёжный метод автоматизации бизнес-правил в рамках эффективного и доверительного механизма. Смарт-контракт – это самоисполняющийся фрагмент кода, который работает на платформе блокчейн. Предопределённые правила между участвующими организациями переводятся в функции смарт-контракта для установления доверия.

Существует три популярных типа блокчейна – публичный, федеративный и полностью приватный [12]:

- *Публичный блокчейн* – это наиболее распространённая форма блокчейна. В нём любой и каждый имеет возможность подтвердить или просмотреть любую транзакцию, происходящую в сети, загрузить код и запустить публичный узел на своём локальном устройстве, подтверждая транзакции в сети и участвуя в консенсусном процессе. Это даёт право участвовать в процессе, который определяет, какие блоки добавляются в цепь и какова текущая форма и размер блокчейна.

Несколько современных публичных протоколов блокчейн, основанных на алгоритмах консенсуса Proof of Work, имеют открытый исходный код. Это подразумевает, что любой желающий может принять в них участие без разрешения. В качестве примера можно привести Bitcoin, Ethereum, Monero и др.

- *Полностью приватный блокчейн*. Механизм консенсуса централизован в руках одной организации, задачей которой является проверка и добавление всех транзакций в блокчейн. Сеть, основанная на частном блокчейне, поэтому не нуждается в использовании таких механизмов, как «Proof of Work» или «Proof of Stake», которые сложны в реализации и дороги.

- *Федеративные блокчейны* в основном используются в банковском секторе. Они представляют собой разновидность частных блокчейнов, которые контролируются не одним узлом, а несколькими заранее определёнными узлами. Процесс консенсуса в федеративных блокчейнах отличается от процесса консенсуса в публичных блокчейнах. Здесь консенсус контролируется заранее выбранным набором узлов. Право на чтение блокчейна может быть публичным или ограниченным для участников. Такие блокчейны также известны как блокчейны с частным разрешением.

В контексте цепочки поставок прозрачность можно отнести к информации, доступной компаниям, участвующим в сети поставок. Для того чтобы цепь поставок была прозрачной, важно, чтобы происхождение продукта или услуги можно было проследить от начала до конца их жизненного цикла. Таким образом, прозрачность и прослеживаемость взаимосвязаны.

Технологии блокчейн обеспечивают повышение прозрачности цепочки поставок, но, что более важно, они создают неизменяемый и распределённый тип записи о хранении в силу природы протокола, который хорошо подходит для приложений по отслеживанию. Однако существуют проблемы, которые необходимо преодолеть. Одна из проблем заключается в том, как будет осуществляться разработка и управление технологией.

*Разрешённый блокчейн* – это распределённая бухгалтерская книга, которая не является общедоступной. К нему могут получить доступ только пользователи с разрешениями. Пользователи могут выполнять только определённые действия, разрешённые им администраторами главной книги, и должны идентифицировать себя с помощью сертификатов или других цифровых средств. Как публичные, так и разрешённые блокчейны имеют свои ограничения и преимущества. Необходимо обеспечить совместимость разрешённых и публичных блокчейнов, для чего потребуются стандарты и соглашения.

Ещё одна серьёзная проблема – это нормативно-правовые акты и законодательство. Сложный массив нормативных актов, морского права и коммерческих кодексов регулирует права собственности и владения на мировых морских путях и в их многочисленных юрисдикциях.



Из различных предлагаемых преимуществ блокчейна, которые мы обсуждали ранее, одно важное преимущество заключается в форме смарт-контрактов. Под смарт-контрактом можно понимать набор алгоритмов и программ в цифровой среде, которые могут быть частично или полностью выполнены или приведены в исполнение при наступлении определённых условий. В контексте блокчейн смарт-контракты имеют заранее написанную логику; хранятся и реплицируются на платформе распределённого хранения; выполняются/запускаются сетью компьютеров и могут привести к обновлению бухгалтерской книги. В целом они работают на основе положений «если–то», которые выполняются и проверяются многими компьютерами для обеспечения достоверности. Основная функция блокчейна заключается в предоставлении пользователям распределённого надёжного хранилища. Аналогично, основной функцией смарт-контракта является предоставление пользователям распределённых надёжных вычислений.

Смарт-контракт состоит из компьютерного кода, который используется для автоматизации частей «если–тогда» традиционного контракта. Преимущество компьютерного кода на блокчейне заключается в том, что вероятность манипуляций очень низка, так как существует меньше потенциальных спорных моментов. Код воспроизводится на многих компьютерах и запускается теми компьютерами, которые пришли к соглашению о результатах выполнения кода.

Смарт-контракты обеспечивают следующие преимущества:

- *Самоисполняющиеся условия:* пункты «если–то» создают самоисполняющийся контракт. Это снижает потребность во взаимодействии участников процесса. Если определённый набор условий выполнен, продавец получает оплату. Если условия не выполняются, то одна из сторон автоматически получает штраф.

- *Безопасность:* смарт-контракт зашифрован и распределён между узлами. Это гарантирует, что он не будет потерян или изменён.

- *Скорость и стоимость:* благодаря автоматизации процесс происходит очень быстро. Например, продавцу не нужно ждать оплаты, если всё в порядке. Как только в смарт-контракте выполняются условия, платёж за-

пускается автоматически. Это также помогает устранить посредников, что экономит затраты.

Несмотря на большие преимущества, у смарт-контрактов есть и недостатки:

- *Человеческий фактор:* кодированием и программированием занимаются люди, а это значит, что в кодах могут быть возможные лазейки. Это делает смарт-контракт восприимчивым к атакам хакеров.

- *Законодательная сложность:* в настоящее время смарт-контракты не подпадают под сферу законодательного регулирования. Однако стремительный рост цен на криптовалюты привёл к тому, что многие страны начали регулировать криптовалютную индустрию. Смарт-контракты – это юридические документы, которые будут исполняться на цифровой платформе. В настоящее время они находятся вне зоны нормативно-правового регулирования, и стороны могут заключать их на основе собственного понимания. Если смарт-контракты будут регулироваться и потребуют одобрения регулирующих органов, то эффективность смарт-контрактов будет утрачена.

- *Договорные условия:* смарт-контракты в основном полезны для исполнения по принципу «если–то». Во многие контракты специально вписываются оговорки, чтобы создать канал для арбитража. Например, оговорка о форс-мажорных обстоятельствах, которая присутствует в большинстве контрактов на морские перевозки.

Мы рассмотрели различные проблемы цепочки поставок в транспортных узлах и то, как различные приложения блокчейна, такие как смарт-контракт, могут быть полезны для обеспечения прозрачности и прослеживаемости в текущих цепочках поставок. Были выделены три основные проблемы грузоотправителей в цепочках поставок транспортных узлов: барьеры в торговле, внедрение технологий в морской отрасли и неэффективная практика заключения контрактов. Они приводят к тому, что грузоотправители сталкиваются с ненужными задержками и расходами из-за перегруженности бумажной работой.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### As-Is (как есть) – Процесс доставки

Текущий процесс отгрузки товаров и важность документации рассмотрены ниже на рис. 3.

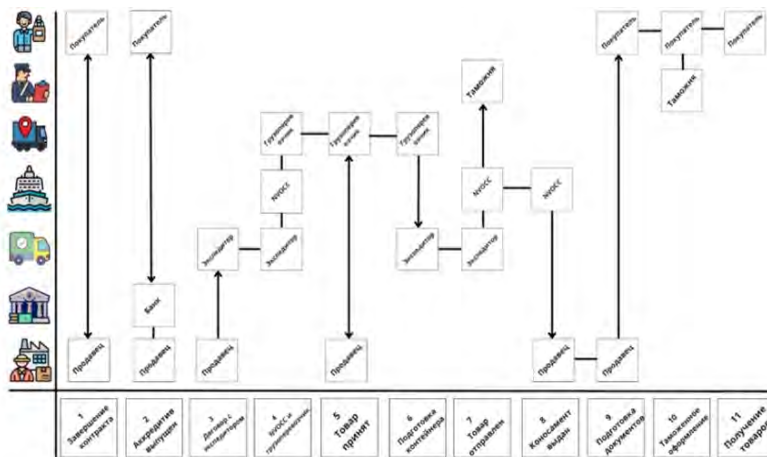


Рис. 3. Текущий процесс перевозки контейнеров As-Is (Как есть) [выполнено автором].

1. Здесь происходит взаимодействие покупателя и продавца при продаже и покупке товаров:

- Продавец и покупатель заключают соглашение о продаже товаров. Это происходит посредством традиционных бумажных контрактов. Контракты подписываются физически, поэтому обмен ими происходит с помощью курьера или экспресс-почты.

- В большинстве случаев, когда сделка имеет высокую стоимость и когда покупатель и продавец незнакомы друг с другом, продавец просит покупателя предоставить аккредитив (LOC – Letter of credit) от банка покупателя. LOC – это документ от банка, который гарантирует оплату.

2. Покупатель и продавец взаимодействуют со своими банками для выпуска и подтверждения LOC:

- Покупатель запрашивает LOC в своём банке. Когда покупатель запрашивает LOC, он также указывает условия, в соответствии с которыми должен быть произведён платёж. Например, в какой день и время продавец должен отгрузить товар, или из какого порта должна быть отгружена продукция. В соответствии с этими указаниями банк выдаёт платёж.

- Банк-эмитент затем направляет копию письма в банк продавца вместе со списком документов, которые потребуются от продавца для оплаты.

- Когда банк, ведущий переговоры, подтверждает статус LOC, он сообщает об этом продавцу. Продавцу необходимо внимательно изучить условия LOC, так как оплата производится на основании LOC.

3. После подписания договоров и утверждения LOC продавец готовится к отправке товара:

- Продавец начинает подготовку товара в соответствии с оговорёнными условиями (например, тип упаковки, внешний вид товара и т.д.). Эти моменты обычно оговариваются в первоначальном контракте.

- Параллельно продавец также ищет экспедитора, который поможет покупателю доставить товар. Продавец обычно направляет запрос на котировку фрахта, который может быть отправлен по электронной почте, по телефону или в онлайн-форме. Запрос котировки фрахта будет содержать всю информацию, необходимую для перевозки товара.

- На основе предоставленной информации экспедитор составляет котировку грузоперевозки, разбивая отдельные элементы доставки груза, включая наценки. В их числе:

- Информация о маршруте – куда и откуда отправляется груз.

- Способ транспортировки и оборудование.

- Сведения о грузе, включая размеры, вес и описание товара, например, является ли он опасным.

- После того как продавец принимает предложение от определённого экспедитора, он предоставляет ему следующие документы:

- Коммерческий счёт-фактура: поставщики, продающие товары импортёрам, выписывают коммерческий счёт-фактуру. Как и другие счёта-фактуры, он является доказательством продажи и включает ту же информацию, что и стандартный счёт-фактура. Его отличие заключается в том, что он также



включает информацию о грузе, необходимую для таможенного оформления.

– Сертификат происхождения: в большинстве стран этот документ необходим для таможенного оформления, определения возможных пошлин, а также для предварительной отчётности о грузе.

– Паспорт безопасности материалов. Это декларация для опасных грузов.

– Инструктивное письмо грузоотправителя. В нём содержится информация о грузоотправителе/грузополучателе, информация о маршрутизации, Инкотермс и т.д.

4. После того, как экспедитор получает от продавца контракт и соответствующие документы, он приступает к бронированию мощностей у автотранспортной компании и несудоходной транспортной организации общего назначения (NVOCC – Non Vessel Operating Common Carrier). NVOCC – это агрегатор, который собирает контейнеры от нескольких экспедиторов (FF) или грузоотправителей, а затем бронирует мощности.

• FF направляет запрос котировок нескольким автотранспортным компаниям и NVOCC. FF может заключить контракт с автотранспортной компанией/NVOCC на основе долгосрочного контракта на спотовом рынке. Затем автотранспортные компании и NVOCC изучают условия и положения и, соответственно, принимают или отклоняют запрос. Обычно это делается по электронной почте.

• NVOCC предоставляет FF подтверждение бронирования, которое включает номер бронирования, размер и количество оборудования, план транспортировки, маршрут загрузки с указанием времени прибытия груза в порт и т.д. Это подтверждение отправляется по электронной почте.

• FF затем передаёт информацию продавцу по электронной почте.

5. После того, как продавец получил информацию от FF, грузоотправитель готовит товар к приёму грузоперевозчиком.

Доставщик прибывает на объект продавца, чтобы забрать товар. Он также собирает следующие документы:

• Весовая декларация контейнера: документ будет включать данные грузоотправителя, данные грузополучателя, тип контейнера, товар, общий вес продукции и тип груза.

• Подтверждение бронирования, которое FF должен был предоставить продавцу.

6. После того как товар забран со склада продавца, грузоперевозчик забирает груз на склад FF. Затем экспедитор начинает подготовку контейнеров, которые отправляются в порт для погрузки. Экспедитор консолидирует объёмы от разных клиентов и готовит контейнеры с полной загрузкой. Это позволяет увеличить пропускную способность и минимизировать затраты:

• FF также следит за тем, чтобы упаковочный лист, содержащий такую информацию, как грузоотправитель/грузополучатель, оборудование/полосы/краны, детали упаковки, описание груза и опасного груза (HAZMAT), был готов.

• Доставщик забирает контейнеры для доставки в порт вместе с упаковочным листом. Упаковочный лист и подтверждение бронирования необходимы грузоперевозчику для получения разрешения на въезд в порт.

7. Затем грузоперевозчик прибывает в порт и получает разрешение на въезд, предъявив соответствующие документы. Однако на данном этапе у FF больше работы:

• FF поддерживает связь с таможенной, чтобы растаможить товары. Это сложная задача, поскольку таможня проверяет все документы и убеждается, что декларации соответствуют действительности. Если есть какие-либо несоответствия, товар не загружается на судно, и если он остаётся в порту, возникает стоимость демереджа.

• FF также поддерживает связь с NVOCC для составления коносамента. Коносамент (BOL) – это важный документ, в котором указаны полные сведения о товаре, его отправке, состоянии и т.д. Этот документ служит доказательством того, что товар прошёл таможенную очистку и был отправлен в указанные дату и время. Любое несоответствие в коносаменте означает, что покупатель не сможет вступить во владение товаром.

• NVOCC формирует проект BOL и отправляет его FF, который проверяет все детали и исправляет любые ошибки.

8. После завершения всех формальностей и утверждения FF проекта BOL, контейнеры грузятся на судно и отправляются в рейс:

• NVOCC выдаёт FF три оригинальных экземпляра BOL.

• Это бумажные копии, которые доставляются продавцу лично в руки или через курьерскую службу FF. Этот процесс занимает время в зависимости от местонахождения продавца.

9. После получения копий BOL продавец оставляет один экземпляр у себя:

- Он отправляет второй экземпляр в банк для получения платежа. В BOL указывается вся важная информация, необходимая для получения платежа, например, время отправления товара, количество, порт отправления и т.д.

- Третий экземпляр отправляется покупателю, которому он необходим для получения груза в порту назначения. Эта копия обычно отправляется через курьера или экспресс-почту.

10. Как только покупатель получает BOL, он готовит все необходимые документы, которые потребуются ему для получения права собственности на товар. После прибытия груза в порт назначения импортёру необходимо предъявить следующие документы для получения груза:

- Транспортная накладная: транспортная накладная является одним из основных импортных документов для таможенного оформления импорта. Транспортная накладная является одним из показателей «общего объёма исходящих денежных переводов страны», регулируемых резервным банком и таможенным департаментом. Вексель должен быть подан в течение тридцати дней после прибытия товаров на таможенную территорию. После завершения импортных таможенных формальностей по такой накладной выдаётся «приказ о пропуске». После того как импортёр или его уполномоченный агент на таможне получает от соответствующего таможенного чиновника «приказ о вывозе», импортные товары могут быть вывезены с таможни.

- Коммерческий счёт-фактура.
- Коносамент.
- Импортная лицензия.
- Страховой сертификат.
- Заказ на поставку.
- Кредитный листок.
- Любые другие налоговые документы.

11. Если все документы в порядке, товар отпускается из порта, и покупатель получает его во владение. Однако если в документах имеются какие-либо расхождения, товар не отпускается, и покупатель несёт дополнительные расходы в виде демереджа.

Процесс доставки As-Is (Как есть) имеет множество ограничений, которые делают его громоздким и дорогостоящим. Это обширная документация, которая требуется на каждом этапе. Как правило, контракты с высокой стоимо-

мостью и высоким риском оформляются на бумаге, чтобы сохранить юридический статус. Кроме того, все документы, которые представляются для таможенного оформления, обычно также печатаются на бумаге. Уплата штрафов за недостатки в работе является серьёзной проблемой. В большинстве случаев грузоотправитель или перевозчик не платят за недостатки в обслуживании. Контракты, как правило, представляют собой свободные устные соглашения, перенесённые на бумагу [13].

Ещё одним аспектом, создающим барьеры, является необходимость в банковской гарантии. Как правило, ожидается, что покупатель предоставит продавцу аккредитив (LOC) в качестве гарантии того, что продавцу поступит оплата после выполнения определённых условий. В этот процесс вовлекаются банки обеих сторон, и продавец не отгружает товар, пока не будет удовлетворён получением LOC. Это особенно актуально для мелких покупателей [14].

Проблема заключается в том, что LOC описывает только некоторые общие условия, такие как порт отгрузки, время отгрузки, количество отгрузки и т.д., однако в нём, как правило, нет условия, говорящего о качестве полученного товара. Таким образом, даже если поставщик отгружает бракованный товар, он в любом случае получит платёж от банка, если условия LOC выполнены.

Состояние контейнерных перевозок As-Is (Как есть) является неэффективным и дорогостоящим. И именно блокчейн как инструмент может помочь решить многие проблемы этого процесса и сделать его более эффективным. Схема, показанная на рис. 4, объясняет, почему блокчейн может подойти для реорганизации существующего процесса.

Исходя из данной схемы, мы определили, что для нашей существующей модели необходим блокчейн с частным разрешением. Ниже приведены факты для принятия решения о типе блокчейна, который нам нужен:

- Нам понадобятся данные с временной меткой, и будет несколько участников, таких как продавец, покупатель, экспедитор и таможня.
- У нас нет единой доверенной третьей стороны.
- Все участники известны, но им не доверяют.
- Мы не нуждаемся во внешнем аудите.



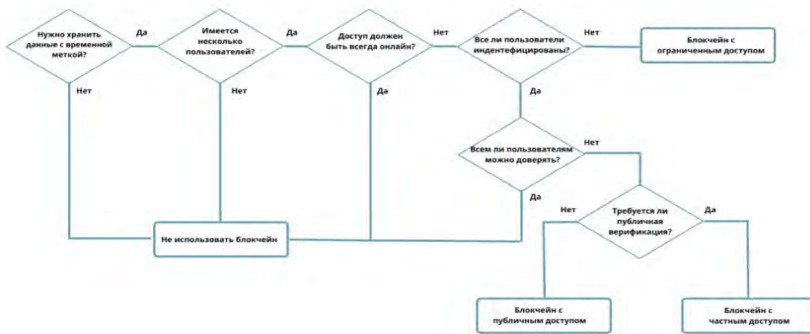


Рис. 4. Структура для принятия решения о необходимости блокчейна [выполнено автором].

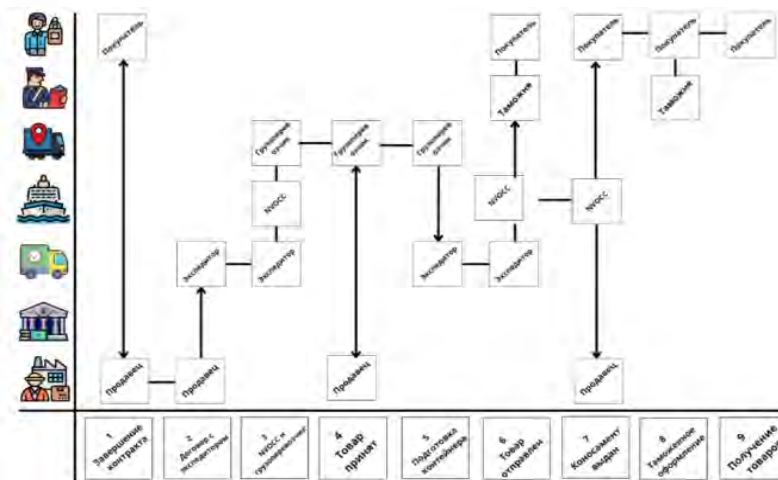


Рис. 5. Процесс To-Be (Как Будет) транспортировки контейнеров [выполнено автором].

Первый шаг к внедрению блокчейна заключается в том, что покупатель, продавец, экспедитор, NVOCC и таможня присоединяются к блокчейну. Это будет частный блокчейн с разрешением, в котором разные стороны имеют разные права доступа. Например, таможня не может просматривать информацию о себестоимости товара [15].

#### То-Ве (Как Будет) – Процесс доставки

Процесс То-Ве (Как Будет) состоит из следующих этапов:

1. Покупатель и продавец заключают соглашение, как указано ниже:

- Контракт выполняется как смарт-контракт через блокчейн.
- Банк может не требоваться в качестве стороны в платформе с поддержкой блокчейна. Смарт-контракт – это самоисполняющийся контракт, основанный на определённых положениях «если-то». Деньги могут храниться в криптовалюте. Если все условия

в контракте выполнены, продавец получает деньги, в противном случае деньги удерживаются в рамках спора.

2. Продавец заключает договор с экспедитором (FF).

3. После завершения работы над договором с FF он заключает контракт с NVOCC и автотранспортной компанией. Вся информация передаётся через блокчейн.

4. Грузоперевозчик получает всю необходимую информацию от продавца. Такие детали, как время забора груза, подробности и т.д. отправляются водителю транспортного средства. Грузоперевозчик может присоединиться к блокчейну, а может и не присоединиться. Грузоперевозчик обычно является субподрядчиком, и ему не нужно загружать какие-либо специальные документы, поэтому процесс не пострадает, если грузоперевозчика не будет в блокчейне.

5. Затем грузоперевозчик доставляет товар на склад FF, где контейнер подготавливается к отправке.

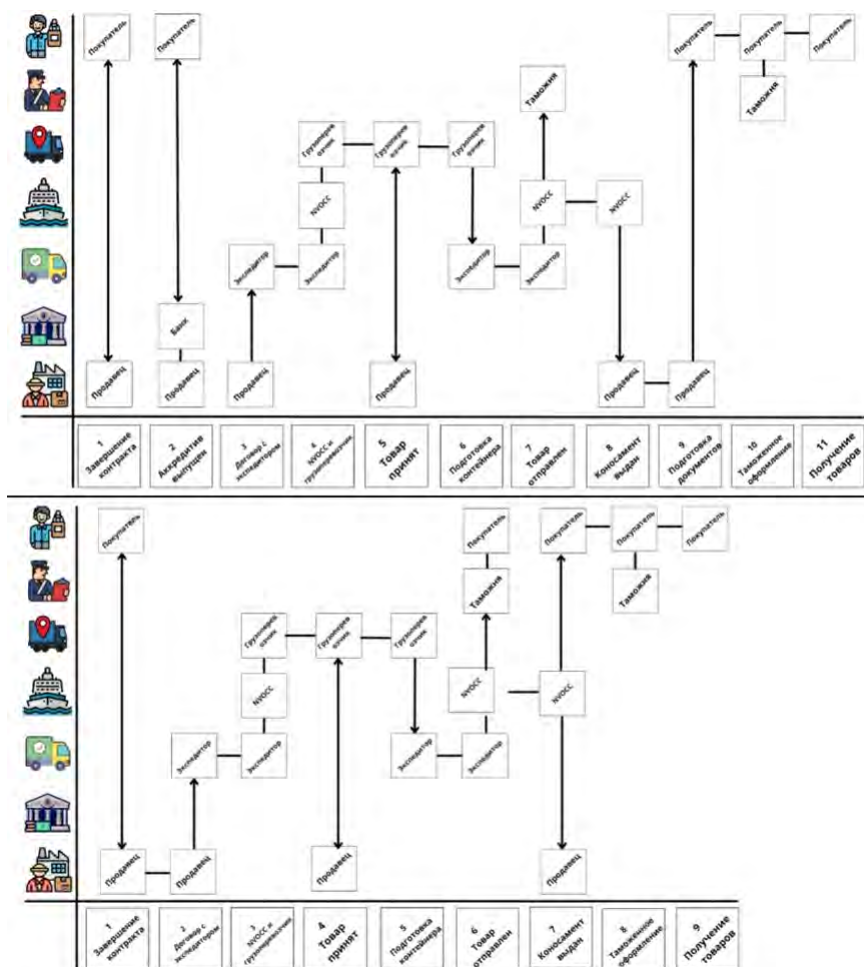


Рис. 6. Процесс As-Is (Как есть) и To-Be (Как будет) [выполнено автором].

6. Затем информация передаётся NVOCC/ партнёру-отправителю через блокчейн. Эта информация необходима NVOCC для подготовки коносамента. FF больше не нужно иметь физические копии документов для предъявления в порту. Вся необходимая информация, такая как коммерческий счёт-фактура, данные об упаковке, спецификация материалов и т.д., передаётся в таможенную в электронном виде через блокчейн экспедитором или продавцом.

- При блокчейн-процессе не требуется изготовление физических документов. Это экономит время FF, так как он сможет проверить документы на таможне в электронном виде.

- После того как грузоперевозчик забирает груз у поставщика, он направляется непосредственно в порт. Таможня располагает всей необходимой информацией через блокчейн. Единственный документ, который может потребоваться грузоперевозчику, – это пропуск на въезд.

- Когда груз находится в порту, таможенный чиновник может провести физический осмотр товаров на основе информации, предоставленной грузоотправителем через блокчейн.

7. После таможенной очистки NVOCC готовится к отправке. Консолидация генерируется в электронном виде и передаётся на таможенную продавца и покупателя через блокчейн. Больше нет необходимости в физической копии.

8. Когда груз прибывает в порт назначения, покупателю не нужно собирать все документы. Все документы передаются портовым властям и таможне через блокчейн. Сотрудники таможни сверяют товары с документами, загруженными через блокчейн.

9. После проверки покупатель вступает во владение товаром.

Сравнивая и сопоставляя оба процесса As-Is (Как есть) и To-Be (Как будет) на рис. 6, мы можем увидеть возможные улучшения.



Количество шагов в процессе сократилось с 11 до 9, что свидетельствует о повышении эффективности. Ещё одним важным моментом является то, что банк больше не является участником процесса. Таким образом, сокращается количество посредников.

На этапах 1 и 2 процесса То-Ве мы используем смарт-контракты между покупателем, продавцом и экспедитором вместо традиционных бумажных договоров. Это делает процесс более эффективным и динамичным. Это поможет свести к минимуму неэффективную практику заключения договоров.

На этапе 7 процесса То-Ве мы отмечаем, что коносамент (BOL) теперь передаётся через блокчейн как продавцу, так и покупателю. Это ключевое улучшение. Обычно BOL отправляется по электронной почте покупателю или продавцу. Таким образом, существует риск, что BOL может быть утерян. Если покупатель не сможет предъявить BOL на таможне, то он рискует получить штраф за простой груза в порту. В данном процессе такие риски будут сведены к минимуму.

В целом, благодаря использованию блокчейна мы видим, что данные быстрее перемещаются по цепочке, ограничивается использование бумажной документации и повышается эффективность практики заключения контрактов. Кроме того, поскольку существует взаимное доверие между различными участниками, не требуется внешнее подтверждение данных [16].

Внедрение блокчейна в процесс доставки может иметь множество преимуществ. Значительно снижается потребность в физической документации. Продавец и покупатель могут сэкономить много времени на оформлении документации. Вся документация передаётся в электронном виде таким партнёрам, как экспедитор, NVOCC и, самое главное, таможне. Сотрудники таможни получают документы в электронном виде на каждый груз.

Существенным преимуществом блокчейна здесь является то, что таможня может доверять передаваемым данным. Данные, загружаемые в блокчейн, будут иметь отметку даты и времени. Кроме того, если таможня или любая из сторон захочет отредактировать документы или изменить отметку времени, им придётся получить одобрение большинства участников в системе. Таким образом, ни таможенник, ни другие стороны

не смогут легко внести изменения. Будет вестись учёт внесённых изменений. В существующих системах мы можем достичь такого уровня разрешений, однако система остаётся централизованной. Разница, которую блокчейн привносит в систему, заключается в децентрализации и в том, что все стороны должны прийти к согласию перед внесением изменений.

В докладе подкомитета по глобальным цепям поставок Таможенного комитета по коммерческим операциям США (2017 г.) была дана оценка применимости использования блокчейна для ведения торговых операций. Рабочая группа предложила 14 вариантов использования блокчейна [17]. Они включали такие идеи, как сбор и отслеживание лицензий, разрешений и лицензий партнёрских государственных учреждений, отчётность по сертификатам происхождения и квалификация продукции по соглашениям о свободной торговле, книжки МДП (CARNET TIR) и отслеживание перемещения облигаций.

Кроме того, мы можем инициировать платежи, основанные на результатах работы. Грузоотправители и перевозчики обычно не получают плату за некачественные услуги ни с одной из сторон. Этот вопрос может быть решён с помощью смарт-контрактов. Поскольку в смарт-контрактах для осуществления платежей используется оговорка «если-то», любая из сторон может финансово «наказать» другую сторону на основании недостатков представленной услуги [18].

## ВЫВОД

Наша модель применения технологии блокчейн в цепочках поставок транспортных узлов требует, чтобы все вовлечённые стороны приняли блокчейн. Это может оказаться сложной задачей, особенно если речь идёт о таможне. Во-первых, таможня каждой страны должна внедрить блокчейн и принимать через него документы. Это может быть связано с многочисленными согласованиями и потребует времени. Во-вторых, таможня страны назначения также должна быть связана с таможней страны происхождения, чтобы обеспечить беспрепятственный поток информации. Это поднимает вопрос о совместимости.

В настоящее время разные блокчейны несовместимы, что означает, что блокчейн, использующий в качестве валюты биткойны,

не может торговать с блокчейном на Ethereum, который использует валюту в эфирах. Ему придётся конвертировать биткоин в фиатную валюту (фиатной валютой называется валюта, объявленная правительством законным платёжным средством, но не обеспеченная товаром), а затем на эту фиатную валюту покупать эфиры.

Блокчейн может выступать в качестве вспомогательного средства и улучшить существующий процесс в транспортной отрасли. Благодаря неизменяемой природе блокчейна, он обладает потенциалом для укрепления доверия между участниками перевозочного процесса, такими как таможня, грузоотправители, экспедиторы и т.д. Также, поскольку знание возможностей информационных технологий является важным моментом при проектировании интегрированной информационной системы управления транспортного узла, в процессе исследований анализируются и технологии, доступные для отслеживания грузов и транспортных средств, связи и управления перевозочным комплексом.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Marvin, R. Blockchain in 2017: The Year of Smart Contracts. PCMag, December 12, 2016. [Электронный ресурс]: <https://www.pcmag.com/news/blockchain-in-2017-the-year-of-smart-contracts>. Доступ 21.08.2022.
2. Hyung-Geun, Kim. The Role of logistics industry in China national economy – An Input-Output analysis. Chinese Studies, 2013, Vol. 45, pp. 281–302. DOI: 10.14378/KACS.2013.45.45.281.
3. Yi, Lin; Xiaojun, Duan; Chengli, Zhao; Li, Da Xu. Complex Systems and Complexity. In book: Systems Science, 1<sup>st</sup> ed. CRC Press, 2013, 38 p. eBook ISBN 9780429112812. DOI: <https://doi.org/10.1201/b13095-11>.
4. Eremina, L., Mamoiko, A., Bingzhang, L. Use of blockchain technology in planning and management of transport systems. E3S Web Conf., Key Trends in Transportation Innovation (KTTI-2019), 2020, Vol. 157, Article Number 04014, 8 p. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015704014>.
5. Li, Bingzhang, Zhiranov, V. Blockchain in agricultural supply chain management. Blockchain in agricultural supply chain management. E3S Web of Conferences, January 2021, Vol. 273 (4), pp. 08029. DOI: 10.1051/e3sconf/202127308029.
6. Nozdrev, S. China in the system of world finance. World Economy and International Relations, 2016, Vol. 60, Iss. 10, pp. 29–40. DOI: <https://doi.org/10.20542/0131-2227-2016-60-10-29-40>.
7. Weber, I.; Xu, X.; Riveret, R. [et al]. Untrusted Business Process Monitoring and Execution Using Blockchain. 14<sup>th</sup> International Conference on Business Process Management (BPM 2016). Springer International

Publishing, Business Process Management, 2016, pp. 329–347. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-45348-4\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-319-45348-4_19).

8. Khamenehmohammadi, T. Cross Case Analysis in Shipping and Logistic Industry Supply Chains: Blockchain Qualities in Stakeholder Value Proposition. Theses Dissertation. Ottawa, Carleton University, 2021, 130 p. [Электронный ресурс]: <https://curve.carleton.ca/2d36dc9e-531f-41ff-ae40-2e267e09a18d>. DOI: <https://doi.org/10.22215/etd/2021-14483>.

9. Bauk, Sanja. Blockchain conceptual framework in shipping and port management. Conference lecture. Universitat Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politècnica, 2022. [Электронный ресурс]: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/369103>. DOI: <http://dx.doi.org/10.5821/mt.10848>.

10. Zhang, Z., Figliozzi, M. A. A Survey of China's Logistics Industry and the Impacts of Transport Delays on Importers and Exporters. Transport Reviews, 2010, Vol. 30, 26 p. DOI: <https://doi.org/10.1080/01441640902843232>.

11. Yu, Nannan; De Jong, M.; Storm, S.; Mi, Jianing. The growth impact of transport infrastructure investment: A regional analysis for China (1978–2008). Policy and Society, 2012, Vol. 31, pp. 25–38. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polsoc.2012.01.004>.

12. Chen, Lurong; De Lombaerde, P. China moving up the value chain: What can be learned from the Asian NICs? International Area Studies Review, 2013, Vol. 16, Iss. 4, pp. 407–430. DOI: 10.1177/2233865913507441.

13. Zhang, Junping; Wang, Kunfeng; Lin, Wei-Hua; Xu, Xin; Chen, Cheng. Data-Driven Intelligent Transportation Systems: A Survey. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2011, Vol. 12, pp. 1624–1639. DOI: 10.1109/TITS.2011.2158001.

14. Luan, Xin; Cheng, Lin; Yu, Weiwei; Zhou, Jie. Multimodal Coupling Coordination Analyses at the Comprehensive Transportation Level. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2019, Vol. 3, pp. 27–33. DOI: 10.16097/j.cnki.1009-6744.2019.03.005.

15. Yeung, H. W.-C. Rethinking the East Asian developmental state in its historical context: finance, geopolitics and bureaucracy. Area Development and Policy, 2016, Iss. 2 (1), pp. 1–23. DOI: 10.1080/23792949.2016.1264868.

16. Junjie, Hong; Zhaofang, Chu; Qiang, Wang. Transport infrastructure and regional economic growth: Evidence from China. Transportation, 2011, Vol. 38, pp. 737–752. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11116-011-9349-6>.

17. Li, Bingzhang; Eremina, L. V. Development of the transport corridor «The New Silk Road» in China. Materials of the International Conference «Scientific research of the SCO countries: synergy and integration» – Reports in English. Part 2. Beijing, PRC, December 12, 2018, pp. 208–215. ISBN 978-5-905695-84-1. [Электронный ресурс]: <https://elib.pnzgu.ru/files/eb/2yU3sAQlFy.pdf>. Доступ 21.08.2022.

18. Eremina, L., Mamoiko, A., Semchugova, E., Shatalova, E., Volohov, A., Li, Bingzhang. Innovative Use of Blockchain Technology in the Logistics Industry. In: N. Lomakin (Ed.). Conference Finance, Entrepreneurship and Technologies in Digital Economy. European Proceedings of Social and Behavioural Sciences, 2021, Vol. 103, pp. 629–638. DOI: <https://doi.org/10.15405/epsbs.2021.03.79>.

### Информация об авторе:

**Ли Бинчжан** – аспирант Донского государственного технического университета, Ростов-на-Дону, Россия / Цзинань, провинция Шаньдун, Китайская Народная Республика, [guia666.6@mail.ru](mailto:guia666.6@mail.ru).

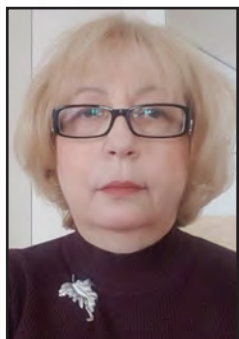
Статья поступила в редакцию 02.08.2022, одобрена после рецензирования 07.09.2022, принята к публикации 18.09.2022.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ  
УДК 656:656.225:004:33  
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-7>

## Концептуальные и организационно-технологические решения по формированию цифровых платформ управления перевозками по международным транспортным коридорам



Галина БУБНОВА



Александр Борейко

Галина Викторовна Бубнова<sup>1</sup>,  
Александр Евгеньевич Борейко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Российский университет транспорта, Москва, Россия.

<sup>2</sup> ООО «Интеллектуальные транспортные технологии», Москва, Россия.

✉ <sup>2</sup> [Alexborei@inteltech.center](mailto:Alexborei@inteltech.center).

### АННОТАЦИЯ

Создание и развитие экосистем на транспорте и в логистике неразрывно связано с формированием цифровых платформ, интегрирующих процессы информационного обмена и обеспечивающих взаимодействие участников данных бизнес-экосистем. В этом контексте современные бизнес-экосистемы в сфере транспорта и логистики становятся новой формой организации участников перевозочного процесса (участников цепей поставок), а лежащие в их основе цифровые платформы – цифровым инструментом обеспечения их координации и эффективного управления.

В настоящее время формирование цифровых платформ в рамках построения бизнес-экосистем на транспорте и в логистике, в том числе международных транспортных коридоров, происходит в государствах Евросоюза, ряде государств Азии, а также в Евразийском экономическом союзе (ЕАЭС). Реализация данных проектов требует выработки научно обоснованных подходов в части определения принципов построения данных цифровых платформ, а также разработки организационных и технологических решений для обеспечения их создания и функционирования.

Целью проведения представленного в рамках настоящей статьи исследования было изучение организа-

ционных, технологических и правовых вопросов мультимодальных перевозок по международным транспортным коридорам (МТК), направленное на выработку концептуальных и организационно-технологических решений, обеспечивающих построение, функционирование и развитие цифровых платформ управления перевозками по МТК, соответствующих реальным потребностям транспортно-логистического комплекса, действующим нормам права, современному и перспективному уровню развития цифровых технологий на транспорте.

Авторами статьи предложен состав уточнённых принципов формирования цифровых платформ для обеспечения развития международных транспортных коридоров, в том числе в рамках экосистемы цифровых транспортных коридоров ЕАЭС. По результатам исследования разработаны верхнеуровневые архитектурные решения, ключевые параметры информационного обмена между цифровыми платформами экосистемы цифровых транспортных коридоров ЕАЭС в рамках реализуемого в настоящее время проекта формирования цифровой платформы международных транспортных коридоров.

**Ключевые слова:** цифровые транспортно-логистические системы, цифровые платформы формирования и развития международных транспортных коридоров.

**Для цитирования:** Бубнова Г. В., Борейко А. Е. Концептуальные и организационно-технологические решения по формированию цифровых платформ управления перевозками по международным транспортным коридорам // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 4 (101). С. 86–97. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-7>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.  
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

## ВВЕДЕНИЕ

Происходящая цифровая трансформация транспортно-логистических систем определяет необходимость смены научной парадигмы управления транспортными системами и комплексами, поиска новых подходов к организации перевозочного процесса и эффективному взаимодействию всех участников цепочки поставок, начиная от поставщика комплектующих и производителя продукции, логистических и транспортных компаний, и заканчивая оператором маркет-плейса и конечным потребителем товара. Ключевым трендом в этой цифровой трансформации является формирование бизнес-экосистем, в первую очередь, в сфере электронной коммерции, а также в смежных отраслях экономики.

Важнейшим принципом деятельности таких бизнес-экосистем, по нашему мнению, является отход от модели прямой конкуренции и переход к модели сбалансированного конкурентного сосуществования и взаимовыгодного партнёрства.

Кроме того, формирование и функционирование бизнес-экосистем невозможно без разработки цифровых платформенных решений, которые сегодня превращаются в новый вид инструментов интеграции бизнес-процессов и формирования новых организационных форм – «цифровых монополий». Вхождение в данную экосистему новой компании, продукта или сервиса сопряжено с существенным барьером входа (в том числе, по принципу «свой – чужой»). Ещё более проблематичным является выход из экосистемы, обеспечивающей продвижение продуктов и сервисов, включая вопросы заказа, доставки и оплаты товаров или услуг, послепродажного обслуживания и сервисного обслуживания клиентов.

В мировой научной литературе имеется значительное количество публикаций по тематике формирования и развития бизнес-экосистем. Однако, как правило, данные публикации касаются процессов, связанных с экосистемами в сфере банковской деятельности, телекома и индустрии развлечений. При этом практически отсутствуют публикации, относящиеся к развитию бизнес-экосистем в сферах транспорта и логистики. Вопросы развития данных бизнес-экосистем, а также ключевых факторов, связанных с их формированием и функционированием, вклю-

чая создание и использование цифровых платформенных решений, раскрыты, на наш взгляд, не в полном объёме.

Недостаточная проработанность концептуальных подходов к вопросам формирования бизнес-экосистем в транспорте и логистике, применения цифровых платформ управления перевозками, в том числе по международным транспортным коридорам, замедляют процессы цифровизации в отечественном транспортно-логистическом комплексе и затрудняют выработку проектных решений по применению цифровых инструментов управления перевозками.

## Ключевые тренды и векторы развития мирового транспорта и логистики

В настоящий момент мировая транспортно-логистическая система, ключевым элементом которой является сеть международных транспортных коридоров (МТК), проходит период кардинальных преобразований, связанных с проявлением следующих ключевых факторов:

1. Происходящие геополитические изменения, резкая политизация международных отношений и введение отдельными странами односторонних необоснованных ограничений и рестрикций, замораживание (фактическая конфискация) активов, запрет на осуществление деятельности, включая вопросы организации перевозок. Глобальность и долгосрочность данного тренда не вызывает сомнений, равно как и глубина влияния на ещё вчера незыблемые «правила игры», в том числе в части организации перевозок по МТК.

2. Влияние пандемии COVID-19 на мировую экономическую систему в целом и транспортно-логистическую отрасль в частности. Казавшееся «незначительным» возмущение вылилось в «идеальный шторм», кардинально изменивший не только структуру товаро-транспортных потоков и стоимость перевозки по МТК, но также привело к долгосрочным и устойчивым изменениям в мировой транспортной системе, включая переориентацию грузопотоков на альтернативные виды транспорта и направления перевозки.

3. Развитие информационно-коммуникационных технологий, цифровых сервисов заложило основу принципиально нового способа организации, управления и контроля перевозочного процесса, обеспечило создание инновационных каналов и инструментов



коммуникации между заказчиком и производителем, между клиентом и перевозчиком, сделав их «ближе» друг к другу и изменив состав и устоявшиеся роли абсолютно всех участников перевозочного процесса.

Совокупность данных первостепенных факторов, кардинальных причин стала основой для формирования и развития новых механизмов и методов рациональной организации перевозок, в том числе, по международным транспортным коридорам. Фактическими проявлениями этих изменений стали:

1. Существенные изменения в общей системе и в правилах организации международных экономических отношений на фоне максимального усиления их «поляризации». Происходящие изменения в правилах и условиях организации международных перевозок, сопровождающиеся зачастую с прямым фактическим запретом или ограничениями на отдельные виды международных сообщений (как, например, запрет российским автомобильным транспортным компаниям осуществлять перевозки в Евросоюзе) или запрет на использование инфраструктуры (аналогичный запрет на заход российских судов в европейские порты).

2. Усиливающиеся изменения структуры и направлений товаро-транспортных потоков, а также условий осуществления перевозок, в том числе по международным транспортным коридорам, существенный тренд на использование наземных видов перевозок и перенос на сухопутные маршруты всё более существенных объёмов, ранее перевозившихся морским транспортом.

3. Обязательное использование цифровых инструментов для организации и обеспечения осуществления перевозочного процесса, включая построение цифровых сетевых платформенных решений и формирование бизнес-экосистем, охватывающих всех участников цепочки поставок, от товаропроизводителей, транспортно-логистических компаний, операторов инфраструктуры и до конечных потребителей.

Отметим, что ввиду высокой динамичности данных процессов научные разработки в области теории и методологии создания цифровых транспортно-логистических систем, поддерживающих организацию и рациональное управление грузовыми перевозками по международным транспортным коридорам, не успевают за прикладными решениями,

реализуемыми на практике. Имеющее место незначительное количество научных публикаций по данной проблематике носит в основном прикладной характер.

Вместе с тем концептуальные основы таких изменений в механизмах и методах организации перевозок по международным транспортным коридорам, фундаментальные научные исследования необходимы для определения будущего облика не только мировой транспортной отрасли, но и всей глобальной экономической системы. В связи с этим для выработки научно обоснованных подходов к развитию международных транспортных коридоров в современных условиях, а также интеграции Российской Федерации в обновлённую систему транспортных коридоров требуется проведение углублённого анализа ключевых причин и основных последствий происходящих глобальных преобразований мировой транспортно-логистической системы, включая проблемы формирования цифровых платформ для обеспечения рациональной трансформации международных транспортных коридоров.

В рамках исследования, проведённого авторами настоящей статьи, было осуществлено изучение организационных, технологических и правовых вопросов мультимодальных перевозок по международным транспортным коридорам (МТК), целью которого являлась выработка концептуальных и организационно-технологических решений, обеспечивающих построение, функционирование и развитие цифровых платформ управления перевозками по МТК, и соответствующих реальным потребностям транспортно-логистического комплекса, действующим нормам права, современному и перспективному уровню развития цифровых технологий на транспорте.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Одним из наиболее ярких проявлений происходящих изменений в мировой транспортно-логистической системе является формирование цифровых бизнес-экосистем, в том числе в рамках процессов перевозок по международным транспортным коридорам и в целом в цепях поставок от товаропроизводителя до конечного потребителя товаров. Более того, наблюдается ускоренное развитие процессов создания таких бизнес-экосистем в разных государствах и региональных объединениях, а также их ин-

теграции со смежными экосистемами, в том числе в сферах электронной коммерции, финансов, производства и других.

Наиболее часто используемое и, пожалуй, самое ёмкое определение [1] трактует бизнес-экосистему как «набор собственных или партнёрских сервисов, объединённых вокруг одной компании (структуры)».

Другие исследователи [2] трактуют бизнес-экосистему как динамичные и постоянно развивающиеся сообщества, которые создают новую ценность через сотрудничество и конкуренцию.

В рамках отечественного нормативного поля принято следующее определение бизнес-экосистемы<sup>1</sup>: это совокупность комплементарных услуг и сервисов, которые за счёт совместной интеграции формируют дополнительную ценность для потребителей при их использовании.

Вне зависимости от используемого определения, основной особенностью данного экономического феномена (бизнес-экосистемы) является то, что в ходе формирования и развития бизнес-экосистем происходит переход от модели прямой конкуренции к модели сосуществования и взаимного развития участников рынка. Данные процессы, в том числе, сопровождаются переходом от линейной формы организации взаимодействия к формированию сетевых структур, характеризующихся множественными связями между деловыми структурами (участниками экономических отношений).

В настоящее время наблюдается ускоренное формирование бизнес-экосистем, в том числе, в сегменте международных перевозок, характеризующееся участием в данных экосистемах всех участников перевозочного процесса, включая транспортные, экспедиторские компании, компании производителей, грузовладельцев и заказчиков перевозки. При этом в условиях современной турбулентности мировых экономических отношений участники экосистемы динамично дополняют друг друга, обеспечивая альтернативные связи и каналы поставок в условиях меняющейся деловой среды.

<sup>1</sup> Концепция общего регулирования деятельности групп компаний, развивающих различные цифровые сервисы на базе одной экосистемы. Май 2021. [Электронный ресурс]: [https://www.economy.gov.ru/material/file/cb29a7d08290120645a871be41599850/koncepciya\\_21052021.pdf](https://www.economy.gov.ru/material/file/cb29a7d08290120645a871be41599850/koncepciya_21052021.pdf). Доступ 10.09.2022.

Как отмечают исследователи мировой консалтинговой компании BCG [3], современные бизнес-экосистемы отличаются существенными общими признаками, включая:

1. Модульный принцип построения, когда в отличие от традиционных иерархических структур клиентские сервисы или продукты разрабатываются самостоятельно различными их производителями, но функционируют как единое связанное целое.

2. Кастомизация, существенная адаптация продуктов и услуг под конечного потребителя.

3. Сетевые, многосторонние отношения между участниками экосистемы, заменяющие традиционное двустороннее взаимодействие.

4. Координация участников экосистемы не из «административного центра», а путём внедрения общих правил, стандартов и процессов.

Выявленные в ходе настоящего исследования характерные черты формирующихся бизнес-экосистем в сфере транспорта и логистики, в том числе в сфере функционирования международных транспортных коридоров, в части применения современных средств и методов цифровизации взаимодействия участников перевозочного процесса включают:

1. Широкое применение информационно-управляющих систем на различных уровнях управления перевозочным процессом по международным транспортным коридорам, а также и управления транспортным бизнесом в целом.

2. Переход от бумажного документооборота к информационному обмену юридически значимыми данными, сведениями и документами в электронном виде, признаваемыми различными сторонами перевозочного процесса в правовом аспекте.

3. Создание и использование информационной среды доверия, обеспечивающей информационный обмен и взаимодействие в электронном виде между участниками перевозочного процесса в ходе организации и управления грузо- и пассажиропотоками, а также между клиентами и заказчиками перевозочного процесса.

4. Разработка и принятие технических требований к информационно-управляющим системам и их компонентам, а также согласованных протоколов информационного обмена, выступающих в качестве открытых стан-



дартов, а также их постоянное развитие и совершенствование.

### Мировые проекты цифровизации международных транспортных коридоров

Описанные тренды и векторы развития мирового транспорта и логистики нашли своё практическое воплощение в реализуемых в мире проектах цифровизации международных транспортных коридоров. Наиболее яркими примерами проектов формирования международных бизнес-экосистем в сфере транспорта и логистики являются:

1. Проект создания Национальной открытой информационной платформы транспорта и логистики KHP (National Public Information Platform for Transport & Logistics, LOGINK<sup>2</sup>).

2. Проект построения региональной платформы NEAL-NET<sup>3</sup> для обеспечения взаимодействия между национальными логистическими системами Китая, Японии и Южной Кореи.

3. Проект Европейского Союза по построению федеративной сети обмена информацией в логистике (Federated Network of Information eXchange in Logistics, FENIX<sup>4</sup>).

4. Проект формирования экосистемы цифровых транспортных коридоров Евразийского экономического союза<sup>5</sup>.

К данному списку формально можно добавить заявленные в Российской Федерации проекты создания цифрового контура логистики, а также цифровой платформы транспортного комплекса, вошедшие в «Стратегию цифровой трансформации транспортной отрасли Российской Федерации»<sup>6</sup> и в Детальный план-график реализации данной Стратегии.

<sup>2</sup> National Transport and Logistics Information Platform in China (LOGINK). [Электронный ресурс]: <https://www.logink.cn/>. Доступ 10.09.2022.

<sup>3</sup> Cooperative Mechanism on Northeast Asia Logistics Information Service Network (NEAL-NET). [Электронный ресурс]: <https://english.neal-net.net/>. Доступ 10.09.2022.

<sup>4</sup> FENIX Network. A European Federated Network of Information eXchange in LogistiX. [Электронный ресурс]: <https://fenix-network.eu/>. Доступ 10.09.2022.

<sup>5</sup> Распоряжение Евразийского межправительственного совета от 31 января 2020 года № 4 «О формировании экосистемы цифровых транспортных коридоров Евразийского экономического союза». [Электронный ресурс]: <https://www.alt.ru/tamdoc/20mr0004/>. Доступ 10.09.2022.

<sup>6</sup> Паспорт Стратегии цифровой трансформации транспортной отрасли Российской Федерации. [Электронный ресурс]: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/11374?type=>. Доступ 10.09.2022.

Ключевые аспекты реализации данных проектов подробно рассмотрены российскими и международными исследователями [4–11], в том числе, и авторами настоящей статьи. Вместе с тем отметим, что формирование цифровых платформ в рамках бизнес-экосистем в сфере транспорта и логистики существенно зависит от действующей в конкретном государстве или региональном объединении нормативно-правовой базы, а также принятых правил и норм ведения бизнеса, зачастую неофициальных, что делает каждый из перечисленных выше проектов существенно уникальным, исключая простое копирование созданных в ходе его реализации технологических наработок и организационных принципов.

Существенное влияние на концептуальные основы формирования бизнес-экосистем, включая определение целей, задач, принципов организации, а также состава и функциональности создаваемых платформенных решений, оказывают существующие в различных странах юридические нормы и организационные механизмы. При этом корректное, научно обоснованное определение концептуальных положений и решений по формированию цифровых платформ международных транспортных коридоров является необходимым условием для построения и жизнеспособности (востребованности) транспортно-логистической бизнес-экосистемы, обеспечивающей построение, рациональную организацию и развитие международных перевозок.

Как показывают результаты наших исследований, анализ официальных материалов по международным проектам формирования бизнес-экосистем в сфере транспорта и логистики, а также научных публикаций по данным вопросам [12–19], сегодня в мировой практике используются следующие концептуальные модели построения цифровых транспортно-логистических систем:

1. Система LOGINK (KHP) осуществляется с чётко выстроенной вертикалью взаимодействия «город–провинция–центр» с фокусом на создание механизма централизованного государственного регулирования процессов цифровой трансформации. Следствием этого концептуального подхода является вертикально-ориентированное построение системы LOGINK в KHP, основанное на централизованном планировании и реализации (модель «сверху вниз»). Как это свойственно

для данных моделей, на верхнем уровне устанавливаются требования к структуре и форматам информационного обмена, определяются методы и способы обработки и использования данных в рамках системы. Кроме того, в рамках системы LOGINK в КНР обеспечивается централизованный обмен данными из нижестоящих уровней системы в вышестоящие и наоборот, а также использование информационного обмена по типу «централизованная звезда».

2. Европейский проект FENIX во многом транслирует политическое устройство Евросоюза и основан на построении горизонтальных взаимосвязей между участниками экосистемы в рамках «федеративной» модели. В данной конструкции акцент сделан на одноранговые взаимодействия «каждый с каждым». Данная модель отражает структуру Евросоюза, «формальное» равенство всех входящих в него государств в рамках общего рынка и политического союза. При этом ввиду отсутствия функционального центрального компонента, информационный обмен осуществляется непосредственно между участниками экосистемы в рамках проекта FENIX, без участия центрального сегмента.

Очевидно, что применяемые в данных проектах концептуальные и организационно-технологические решения по формированию цифровых платформ управления перевозками не в полной мере могут быть использованы для формирования экосистемы цифровых транспортных коридоров Евразийского экономического союза в целом, а также Российской Федерации, как государства-члена Союза, в частности.

Отметим, что и юридический статус, и экономическое устройство ЕАЭС существенно отличаются не только от КНР как унитарного государства, но также и от ЕС как политического и экономического союза со значительной степенью централизации экономики и общим рынком товаров и услуг, единой валютой. Очевидно, что в правовых, организационных и экономических реалиях Евразийского экономического союза, а также с учётом сложившейся бизнес-практики, простое копирование данных моделей организации проектов цифровизации транспорта и логистики не будет работоспособным и не даст ожидаемых результатов.

Кроме того, практическая реализация концептуальной модели цифровых платформ

международных транспортных коридоров на пространстве ЕАЭС неизменно сталкивается с острыми вопросами обеспечения цифрового суверенитета, а также с проблематикой отражения как в архитектуре цифровых платформ, так и в реализуемых схемах информационного обмена и взаимодействия организационно-правовых конструкций, закреплённых в нормах права Евразийского экономического союза.

Также отметим, что согласно п. 2, ст. 1 Договора о Евразийском экономическом союзе<sup>7</sup>, Союз является международной организацией региональной экономической интеграции, обладающей международной правосубъектностью. В рамках Союза согласно п. 1, ст. 1 данного Договора обеспечивается свобода движения товаров, услуг, капитала и рабочей силы, проведение скоординированной, согласованной или единой политики в отраслях экономики, в том числе и в сфере транспорта. Иными словами, формирование общего рынка и создание единой экономической системы управления (администрирования) в рамках ЕАЭС остаётся вопросом достаточно отдалённого будущего. Равно как и формирование единой полнофункциональной цифровой платформы координации и управления перевозками на пространстве ЕАЭС.

В связи с этим, а также с учётом перехода проекта формирования экосистемы цифровых транспортных коридоров ЕАЭС, реализуемого Евразийской экономической комиссией в рамках цифровой повестки ЕАЭС<sup>8</sup>, к непосредственной практической реализации, остро встаёт вопрос выработки научно обоснованных концептуальных положений и предложений по выбору проектных решений для формирования цифровых платформ международных транспортных коридоров, в том числе на пространстве ЕАЭС. При этом эти подходы могут быть в том числе использованы и при построении цифровых платформ транспорта и логистики и в Российской Федерации как в государстве-члене ЕАЭС.

<sup>7</sup> Договор о Евразийском экономическом союзе (с изменениями на 1 октября 2019 года) (редакция, действующая с 5 апреля 2022 года). [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/420205962>. Доступ 10.09.2022.

<sup>8</sup> Решение Высшего Евразийского экономического совета от 11 октября 2017 г. № 12 «Об Основных направлениях реализации цифровой повестки Евразийского экономического союза до 2025 года». [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/555625953>. Доступ 10.09.2022



## Ключевые архитектурные решения для формирования экосистемы цифровых транспортных коридоров ЕАЭС

По итогам реализации в 2018–2019 годах научно-исследовательской работы по теме «Разработка концепции экосистемы цифровых транспортных коридоров Евразийского экономического союза», выполненной при участии авторов настоящей статьи для официального использования Евразийской экономической комиссией, было дано следующее определение: «Экосистема цифровых транспортных коридоров государств-членов ЕАЭС (экосистема ЦТК ЕАЭС) – это саморазвивающаяся совокупность участников, информационных систем и цифровых платформ, используемых в транспортно-логистическом секторе Союза, которая характеризуется устойчивым информационным взаимодействием и обменом данными между её основными объектами и субъектами на национальном и наднациональном уровнях, а также целенаправленно формируется в регуляторном и информационном пространстве ЕАЭС».

При этом основными целями формирования экосистемы ЦТК ЕАЭС является создание условий для:

1. Повышения привлекательности международных транспортных коридоров ЕАЭС, ускорение интеграции в мировую транспортную систему.

2. Повышения пропускной способности международных транспортных коридоров, проходящих по территории государств-членов ЕАЭС, в том числе за счёт сокращения непроизводительных простоев.

3. Повышения эффективности функционирования транспортной инфраструктуры государств-членов ЕАЭС.

4. Повышения эффективности деятельности контрольно-надзорных органов.

По итогам обозначенного НИР были разработаны предложения по ключевым положениям формирования экосистемы цифровых транспортных коридоров ЕАЭС, а также по ключевым положениям построения платформенных решений на наднациональном уровне и на национальных уровнях.

Однако, с учётом указанных выше кардинальных факторов, влияющих на современные векторы развития мировой транспортно-логистической системы в целом и развитие международных транспортных коридоров в частности, а также с учётом развития

и углубления евразийской интеграции и происходящих процессов цифровизации, внедрения цифровых платформ в различных сферах экономики, на современном этапе формирования экосистемы цифровых транспортных коридоров ЕАЭС при проработке концептуальных подходов, необходимы существенные уточнения в ранее сформулированные концептуальные положения.

С учётом вышеописанных исследований, а также с учётом сформулированных ранее авторами настоящей статьи подходов к построению цифровых инструментов управления международными транспортными коридорами РФ–КНР [20], авторами предложен состав уточнённых ключевых принципов формирования цифровых платформ для обеспечения развития международных транспортных коридоров, в том числе в рамках экосистемы цифровых транспортных коридоров ЕАЭС, который должен включать следующее:

1. Открытость. Должна быть обеспечена возможность информационного обмена на основе открытых протоколов программного обеспечения (Application Programming Interface, API) со смежными внешними цифровыми платформами, в том числе на наднациональном, национальном государственном и национальном корпоративном уровне.

2. Стандартизация информационного обмена. Должны быть обеспечены разработка, гармонизация на международном уровне и закрепление на уровне нормативно-технических актов (технических регламентов и стандартов) ключевых протоколов информационного обмена, в том числе между государственными и корпоративными цифровыми платформами международных транспортных коридоров, юридически значимыми данными, сведениями и документами в цифровом виде о ходе перевозки и связанных с ней транспортно-логистических процессах.

3. Совместимость (интероперабельность). При построении цифровых платформ международных транспортных коридоров должен соблюдаться принцип совместимости (интероперабельности), который требует решения задач регуляторной, организационной, семантической (документарной) и технической интероперабельности, в том числе и на международном уровне.

4. Информационная интеграция. Должна быть обеспечена информационная интеграция с государственными, общественными

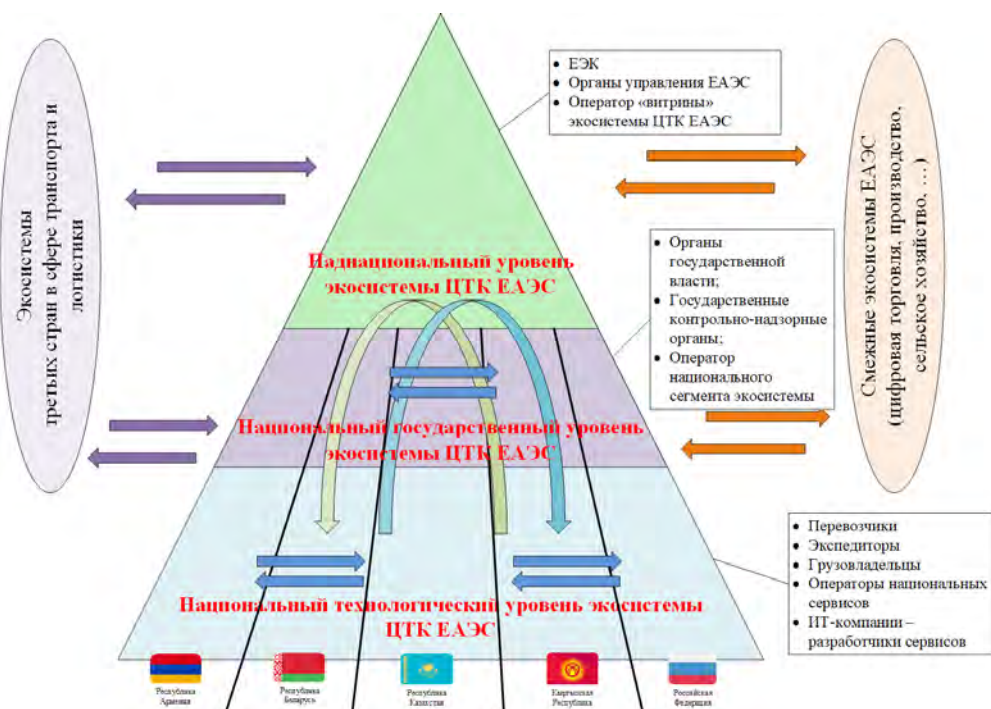


Рис. 1. Концептуальная модель цифровой транспортно-логистической платформы международных транспортных коридоров ЕАЭС [составлено авторами] [21].

и корпоративными цифровыми платформами и информационными системами, включая международные, а также со смежными функциональными информационными системами, включая цифровые торговые площадки и хабы, в том числе для повышения качества и эффективности их функционирования.

5. Использование цифровой среды доверия. Построение и функционирование цифровых платформ международных транспортных коридоров должно осуществляться с применением цифровой среды доверия, обеспечивающей осуществление обмена юридически значимыми данными, сведениями и документами в цифровом виде.

6. Импортонезависимость. При построении цифровых платформ международных транспортных коридоров преимущественно должны использоваться отечественные разработки, должна быть обеспечена максимальная независимость от иностранного программного и аппаратного обеспечения.

Отметим, что предлагаемые принципы построения цифровых платформ международных транспортных коридоров, в том числе цифровых транспортных коридоров ЕАЭС, являются базовыми, определяющими последующую техническую реализацию и регулирование цифровых бизнес-экосистем

в сфере транспорта и логистики, в том числе на МТК.

С учётом сформулированных выше принципов верхнеуровневая программная архитектура цифровых платформ международных транспортных коридоров должна формироваться по иерархичному принципу и включать, в том числе, следующие уровни программной архитектуры цифровых платформ экосистемы международных транспортных коридоров ЕАЭС (рис. 1):

1. Наднациональный уровень – обеспечивающий взаимодействие и информационный обмен как между участниками экосистемы, так и с внешними, в том числе, международными цифровыми платформами международных транспортных коридоров, а также формирование и ведение централизованных общих справочников и метаданных, мониторинг доступности и работоспособности сервисов на национальном уровне.

2. Национальный государственный уровень – обеспечивающий, в том числе, непосредственное предоставление государственных услуг в цифровом виде, обеспечение контрольно-надзорной деятельности в сфере транспорта с использованием цифровых инструментов, а также ведение локальных (национальных) справочников.



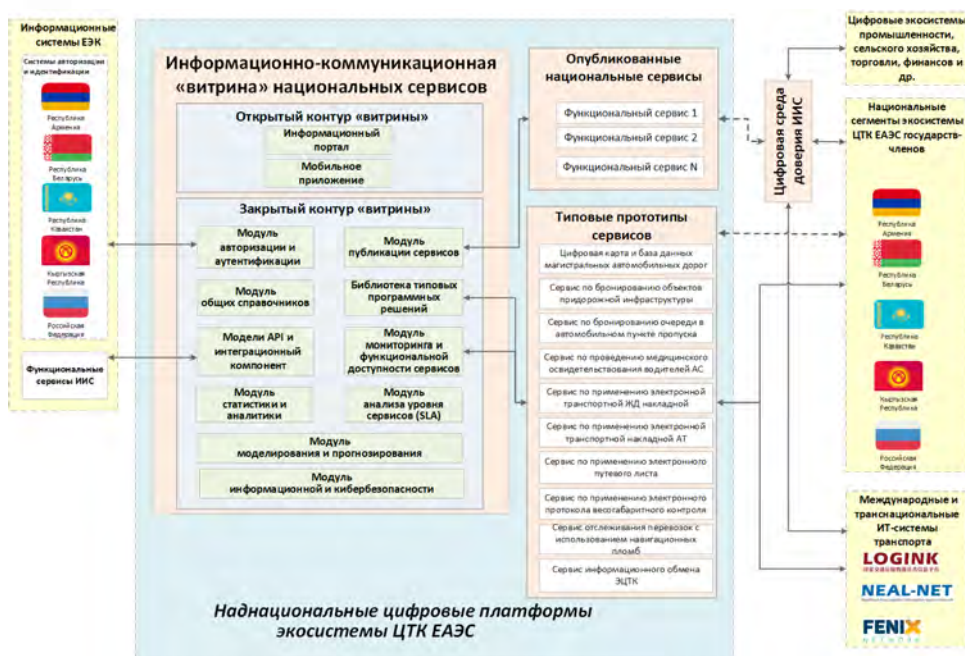


Рис. 2. Предлагаемая архитектура цифровых платформ международных транспортных коридоров ЕАЭС на наднациональном уровне [составлено авторами] [21].

3. Национальный корпоративный уровень – уровень конечных потребителей услуг и источников данных цифровых платформ международных транспортных коридоров, обеспечивающий предоставление цифровых сервисов конечным потребителям (грузовладельцам, заказчикам перевозки, включая физических лиц), а также телематический обмен цифровыми данными оконечными устройствами (навигационными терминалами, датчиками, средствами сбора информации и др.).

Предлагаемым вариантом верхнеуровневой архитектуры построения цифровых платформ международных транспортных коридоров в рамках экосистемы ЦТК ЕАЭС на наднациональном уровне, обеспечивающим выполнение требований норм права ЕАЭС, является внедрение витрины функциональных национальных сервисов, которая выполняет следующие функции:

1. Ведение общих справочников и нормативной базы, используемой при функционировании цифровых платформ экосистемы цифровых транспортных коридоров ЕАЭС.

2. Публикация наднациональных и национальных сервисов, типовых программных модулей и компонентов для их последующего тиражирования, а также контроль согласованной функциональности надна-

циональных и национальных сервисов экосистемы цифровых транспортных коридоров ЕАЭС.

3. Текущий контроль доступности и работоспособности наднациональных и национальных сервисов экосистемы цифровых транспортных коридоров ЕАЭС.

4. Формирование статистических данных по функционированию экосистемы цифровых транспортных коридоров ЕАЭС, а также аналитическое обеспечение транспортно-логистической отрасли ЕАЭС и его государств-членов.

5. Организация информационного взаимодействия и информационного обмена между компонентами наднациональных и национальных сервисов экосистемы цифровых транспортных коридоров ЕАЭС, а также с информационными системами ЕАЭС, в том числе Интегрированной информационной системой Союза (ИИС).

6. Организация информационного взаимодействия и информационного обмена с внешними ИТ-системами в сфере транспорта и логистики, смежными экосистемами и цифровыми платформами международных транспортных коридоров.

Предлагаемый вариант построения цифровых платформ международных транспортных коридоров ЕАЭС представлен на рис. 2.

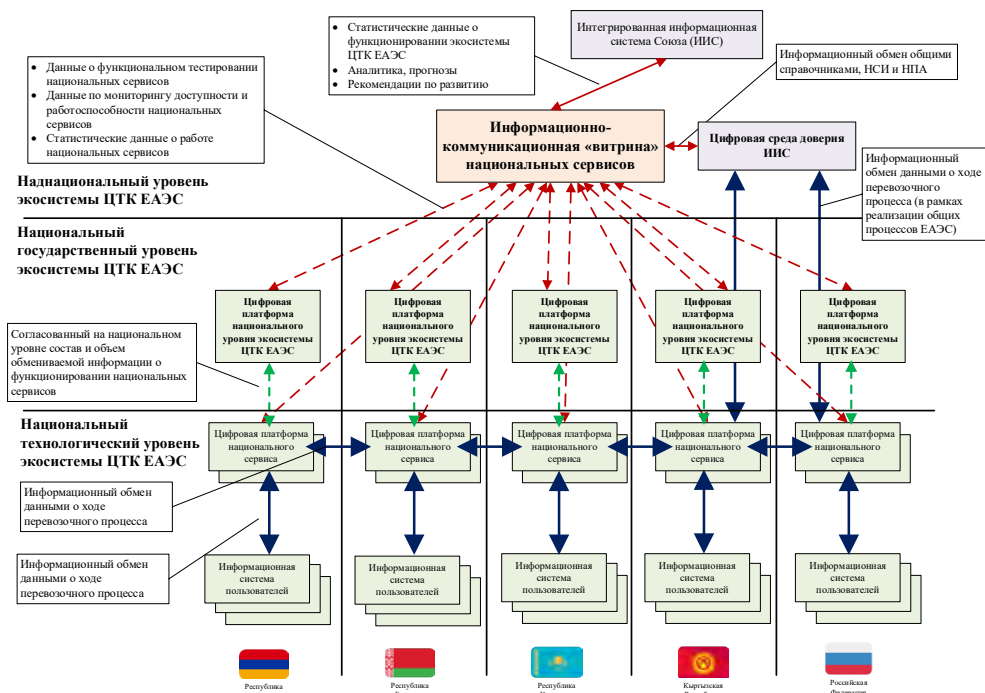


Рис. 3. Схема информационного обмена цифровых платформ международных транспортных коридоров ЕАЭС на наднациональном и национальных уровнях [составлено авторами] [21].

Схема информационного обмена и состав обмениваемых данных между цифровыми платформами международных транспортных коридоров ЕАЭС на наднациональном и национальных уровнях представлена на рис. 3.

Отметим, что реализация представленного информационного обмена должна осуществляться на основе открытых протоколов программного обеспечения (API), которые, в свою очередь, должны быть открыто публикуемыми и доступными всем участникам экосистемы.

Разработанная авторами настоящей публикации в рамках данного научного исследования верхнеуровневая архитектура цифровых платформ международных транспортных коридоров ЕАЭС была в целом одобрена и принята органами управления ЕАЭС для реализации. В частности, в рамках реализации Цифровой повестки ЕАЭС, на первоначальном этапе формирования экосистемы цифровых транспортных коридоров Евразийского экономического союза планируется создание Информационно-коммуникационной «витрины» национальных сервисов, предназначенной для тестирования и публикации национальных сервисов, мониторинга их доступности и работоспособности, а также сбора статистических данных об их функционировании.

Кроме того, планом проекта формирования экосистемы цифровых транспортных коридоров ЕАЭС предусмотрено создание ряда прототипов национальных сервисов, в том числе:

1. Цифровая карта и база данных магистральных автомобильных дорог и инфраструктурных объектов международных транспортных коридоров, проходящих по территориям государств-членов.
2. Сервис по бронированию объектов придорожной инфраструктуры.
3. Сервис по бронированию очереди в автомобильном пункте пропуска государства-члена.
4. Сервис по проведению медицинского освидетельствования водителей автотранспортных средств дистанционно (включая профилактику и предупреждение коронавирусной инфекции COVID-19).
5. Сервис по применению электронной международной транспортной накладной (для железнодорожного транспорта).
6. Сервис по применению электронной международной транспортной накладной (для автомобильного транспорта).
7. Сервис по применению электронного путевого листа.
8. Сервис по применению электронного протокола весогабаритного контроля.



9. Сервис отслеживания перевозок с использованием электронных навигационных пломб (для согласованных видов транспорта).

10. Сервис информационного обмена экосистемы цифровых транспортных коридоров Союза с системами третьих стран.

Ранее при проработке проекта формирования экосистемы цифровых транспортных коридоров ЕАЭС и создания цифровых платформ были сделаны оценки достигаемых в ходе проекта целевых показателей эффективности. Однако, с учётом геополитических изменений, состав данных показателей требует корректировки, а их значения – переоценки.

По мнению авторов настоящей публикации, ключевыми будут системные эффекты, направленные на обеспечение применения цифровых инструментов управления перевозками. При этом наиболее важными показателями эффективности создания цифровых платформ международных транспортных коридоров ЕАЭС в современных условиях будут являться:

- Создание правовых, технологических и организационных условий для обеспечения привлекательности перевозок по международным транспортным коридорам, проходящим по территории Российской Федерации и Евразийского экономического союза, включая обеспечение наилучших и предсказуемых (стабильных) сроков, стоимости и качества перевозки при обеспечении безопасности перевозки.

- Обеспечение технологической независимости и цифрового суверенитета Российской Федерации в части критически важной цифровой инфраструктуры, включая информационно-управляющие системы обеспечения организации и контроля перевозок по международным транспортным коридорам.

- Обеспечение реализации транспортного транзитного потенциала Российской Федерации и государств-членов ЕАЭС, повышение доходов транспортной отрасли.

- Создание условий для ускорения формирования единого транспортного рынка ЕАЭС, обеспечения прозрачности перевозок и гармонизированной системы контроля перевозочного процесса с применением риск-ориентированных подходов в контрольно-надзорной деятельности.

- Повышение налогооблагаемой базы, рост налоговых платежей в бюджет от доходов транспортной отрасли.

Определение значений целевых показателей требует проведения углублённых исследований, актуализации и анализа значительного объёма статистических данных, в том числе в сфере внешнеторговой деятельности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С учётом динамично происходящих глобальных изменений в мировой экономической системе, роста её поляризации, а также с развитием новых технологических, цифровых, методов и инструментов управления перевозками, вопросы ускорения инициации и практической реализации проектов по формированию цифровых платформ международных транспортных коридоров приобретают особую актуальность. При этом требуется глубокое научное изучение как мирового опыта реализации аналогичных проектов, так и анализ и учёт особенностей построения таких систем в соответствии с нормами права и принятой деловой практикой в Российской Федерации и на пространстве ЕАЭС.

Предложенные авторами концептуальные подходы к формированию цифровых платформ международных транспортных коридоров и решению связанных с реализацией данных проектов проблемных вопросов обеспечивают достижение геополитических и экономических результатов, включая обеспечение технологической независимости и цифрового суверенитета Российской Федерации, реализацию её транспортного транзитного потенциала.

При этом, по мнению авторов, наиболее существенные факторы рисков, связанных с формированием цифровых платформ международных транспортных коридоров, лежат в организационной и правовой плоскости, включая многочисленные бюрократические процедуры межведомственных согласований.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Moore, J. F. The Death of Competition: Leadership and Strategy in the Age of Business Ecosystems. New-York: Harper Paperbacks, 1996, 315 p. ISBN 0-88730-850-3.

2. Kelly, E. Business ecosystems come of age. Part of the Business Trends series. Deloitte University Press, 2015, 120 p. [Электронный ресурс]: [https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/platform-strategy-new-level-business-trends/DUP\\_1048-Business-ecosystems-come-of-age\\_MASTER\\_FINAL.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/platform-strategy-new-level-business-trends/DUP_1048-Business-ecosystems-come-of-age_MASTER_FINAL.pdf). Доступ 10.09.2022.

3. Pidun, U., Reeves, M., Schüssler, M. Do You Need a Business Ecosystem? Boston Consulting Group, 27 September 2019. [Электронный ресурс]: <https://www.bcg.com/publications/2019/do-you-need-business-ecosystem>. Доступ 10.09.2022.

4. Бубнова Г. В., Борейко А. Е. Цифровые транспортные коридоры как ключевой фактор развития международной транспортной системы: Актуальные вопросы экономики транспорта высоких скоростей // Сб. научных статей национальной науч.-практ. конференции / Под ред. Н. А. Журавлёвой. – 2020. – С. 24–31. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44612347>. Доступ 27.07.2022.

5. Бубнова Г. В., Куренков П. В., Некрасов А. Г. Цифровая логистика и безопасность цепей поставок // Логистика. – 2017. – № 7 (28). – С. 46–50. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29751354>. Доступ 27.07.2022.

6. Бубнова Г. В., Лёвин Б. А. Цифровая логистика – инновационный механизм развития и эффективного функционирования транспортно-логистических систем и комплексов // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – № 3. – С. 72–78. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28426696>. Доступ 27.07.2022.

7. Курияновский В. П., Климов А. А., Соколов И. А., Покусав О. Н. Цифровые транспортные коридоры ЕС – 5G, платининг, ИТС и Maas // International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – Т. 7. – № 8. – С. 70–86. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39256163>. Доступ 27.07.2022.

8. Зубко И. А. Цифровые транспортные коридоры. УО «Белорусский государственный экономический университет», г. Минск, Беларусь. [Электронный ресурс]: <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/87085/256-259.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Доступ 27.07.2022.

9. Зубко И. А. Цифровые транспортные коридоры: понятие и подходы к построению. [Электронный ресурс]: [https://www.csmart-скиллс.рф/load/global\\_sceince\\_2019/zubko\\_i\\_a\\_cifrovy\\_e\\_transportnye\\_koridory\\_ponjatie\\_i\\_podkhody\\_k\\_postroeniju/5-1-0-127](https://www.csmart-скиллс.рф/load/global_sceince_2019/zubko_i_a_cifrovy_e_transportnye_koridory_ponjatie_i_podkhody_k_postroeniju/5-1-0-127). Доступ 27.07.2022.

10. Борейко А. Е., Бубнова Г. В. Методические подходы к формированию стратегии развития инструментов управления международными транспортными коридорами «РФ–КНР» // Экономика железных дорог. – 2020. – № 5. – С. 43–50. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42895893>. Доступ 27.07.2022.

11. Бубнова Г. В., Борейко А. Е. Цифровые транспортные коридоры как ключевой фактор развития международной транспортной системы // Актуальные вопросы экономики транспорта высоких скоростей // Сб. научных статей национальной науч.-практ. конференции / Под ред. Н. А. Журавлёвой. – 2020. – С. 24–31. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44612347>. Доступ 27.07.2022.

12. Ворона А. А. Концепция создания экосистемы цифровых транспортных коридоров Евразийского экономического союза // Вопросы экономики и управления. – 2019. – № 4 (20). – С. 17–20. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38540810>. Доступ 10.09.2022.

13. Мясникова О. В., Таболич Т. Г. Разработка подходов к созданию организационно-функциональной

структуры экосистемы цифровых транспортных коридоров евразийского экономического союза // Цифровая трансформация. – 2020. – № 1. – С. 23–35. DOI: 10.38086/2522-9613-2020-1-23-35.

14. Ксенофонтова Е. М. Формирование экосистемы цифровых транспортных коридоров ЕАЭС // Сб. статей по итогам XV международной науч.-практ. конференции «Современный менеджмент: проблемы и перспективы» / Под ред. Е. А. Горбашко, И. В. Федосеева. СПб., 2020. – С. 968–974. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44237644>. Доступ 10.09.2022.

15. Мельникова Т. Е., Мельников С. Е., Макурина В. М., Кахраманова С. Проблемы создания регуляторной базы в процессе цифровизации автоперевозок // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2021. – № 9. – С. 49–52. DOI: 10.36535/0236-1914-2021-09-9.

16. Чепернатый А. В., Петров-Рудаковский А. П. Экосистема цифровых транспортных коридоров евразийского экономического союза / В сб.: Автомобилестроение: проектирование, конструирование, расчёт и технологии ремонта и производства. Материалы V Всероссийской науч.-практ. конференции. – Ижевск, 2021. – С. 468–470. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47070096>. Доступ 10.09.2022.

17. Кузьмин Л. А. Существующие и перспективные инструменты цифровизации транспортно-логистической инфраструктуры евразийского экономического союза // Экономика и предпринимательство. – 2021. – № 8 (133). – С. 100–104. DOI: 10.34925/EIP.2021.133.8.013.

18. Коноплёва В. С. Информационные технологии в логистических операциях ЕАЭС / В сб.: Актуальные аспекты развития таможенного дела и регулирования внешнеторговой деятельности России в условиях международной интеграции: Экономическая безопасность и риски глобализации. Материалы II–III всероссийских науч.-практ. интернет-конференций. – Калининград, 2021. – С. 71–75. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47280400&rfp=1>. Доступ 10.09.2022.

19. Захаров А. Н., Филаткина Е. М. Торгово-экономическое сотрудничество ЕАЭС и АТЭС в контексте внедрения технологий искусственного интеллекта и создания экосистемы цифровых транспортных коридоров / В сб.: Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD’2021). Труды XIV международной конференции / Под общ. ред. С. Н. Васильева, А. Д. Цвиркуна. – М., 2021. – С. 999–100. [Электронный ресурс]: <https://mlsd2021.ipu.ru/proceedings/999-1003.pdf>. Доступ 10.09.2022.

20. Борейко А. Е., Бубнова Г. В. Методические подходы к формированию стратегии развития инструментов управления международными транспортными коридорами «РФ–КНР» // Экономика железных дорог. – 2020. – № 5. – С. 43–50. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42895893>. Доступ 27.07.2022.

21. Бубнова Г. В., Борейко А. Е. Концептуальные положения и решения по формированию цифровых платформ международных транспортных коридоров / Международная научная конференция «Экономика цифровой трансформации и устойчивое развитие транспорта», 01.06.2022 г. [Электронный ресурс]: <https://conferences.science/conferences/edits-2022.html> Доступ 10.09.2022.

#### Информация об авторах:

**Бубнова Галина Викторовна** – доктор экономических наук, профессор Института экономики и финансов Российского университета транспорта, Москва, Россия, [Bubisek@mail.ru](mailto:Bubisek@mail.ru).

**Борейко Александр Евгеньевич** – генеральный директор ООО «Интеллектуальные транспортные технологии», Москва, Россия, [Alexborei@inteltech.center](mailto:Alexborei@inteltech.center).

Статья поступила в редакцию 10.09.2022, одобрена после рецензирования 19.09.2022, принята к публикации 20.09.2022.





## НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656.13

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-8>

# Исследование влияния факторов на качество обслуживания пассажиров и эффективность использования подвижного состава



Ольга МАТАНЦЕВА



Анна АРЕДОВА



Ирина ЩЕГОЛЕВА

Ольга Юрьевна Матанцева<sup>1</sup>, Анна Константиновна Аредова<sup>2</sup>, Ирина Викторовна Щеголева<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> ОАО «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта» (ОАО «НИИАТ»), Москва, Россия.

✉ [omat@niiat.ru](mailto:omat@niiat.ru).

## АННОТАЦИЯ

Транспортное планирование представляет собой насущную для большинства стран задачу, включающую её реализацию на региональном и локальном уровне. Разработка документов транспортного планирования в субъектах Российской Федерации актуальна и предполагает под собой достижение таких целей, как повышение качества перевозок пассажиров и снижение расходов на перевозки. Каждый из документов транспортного планирования включает перечень мероприятий, при исполнении которых повышается качество обслуживания пассажиров и эффективность использования подвижного состава.

Целью статьи является определение существенности влияния технико-эксплуатационных факторов на результирующие показатели качества обслуживания пассажиров и эффективности использования подвижного состава. В качестве метода определения использован метод планирования эксперимента, описанный в работе Ю. П. Алдера.

Используемый метод планирования эксперимента даёт возможность получить количественные оценки влияния факторов с такой же достоверностью, как и при других методах. Оценка проведена для независимых или условно независимых между собой факторов. В данном случае такими факторами являются: число автобусов на маршруте, длина маршрута, время оборота, время простоя на конечных пунктах, допустимое отклонение от расписания, время работы водителя, нулевой пробег всех автобусов.

Постоянными в расчётах принимаются независимые факторы, относящиеся к характеристикам спроса на перевозки, так как при проведении мероприятий по совершенствованию организации работы автобусов на маршрутах на них не может быть оказано влияние. Это такие факторы, как расстояние пешего хождения на маршруте, средняя дальность поездки пассажира на маршруте и пассажиропоток на максимально загруженном перегоне.

Методика определения реализована в статье на примере действующего автобуса на маршруте. Для всех базовых факторов устанавливаются верхний, нижний и основной уровни. На основе анализа фактических значений технико-эксплуатационных показателей на действующих маршрутах Московской области определялись численные значения вышеуказанных уровней. Далее выбирались

интервалы варьирования для каждого фактора. Эксперимент, в котором реализуются все возможные сочетания уровней факторов, известен как полный факторный эксперимент. Коэффициенты, вычисленные по результатам эксперимента, указывают на силу влияния фактора. Величина коэффициента соответствует вкладу данного фактора в величину параметра оптимизации при переходе фактора с нулевого уровня на верхний или нижний.

В результате исследований было установлено, что на затраты времени пассажира, комфортность поездки, полноту сбора выручки влияют пять базовых факторов, а на затраты перевозчика на маршруте в сутки влияют десять факторов. Специфика задачи состоит в том, что для всех четырёх параметров оптимизации можно построить одну и ту же матрицу. Для проведения полного факторного эксперимента при варьировании десяти факторов на двух уровнях необходимо провести более тысячи вариантов расчётов. Однако в соответствии с методикой можно ограничиться в данном случае минимальным количеством расчётов. На этом основании была построена матрица планирования эксперимента, по результатам расчётов которой могут быть определены коэффициенты в уравнениях регрессии для каждого из параметров оптимизации. Коэффициенты регрессии, получаемые при расчётах по матрице планирования эксперимента, схожи с теми, какие можно было бы получить в результате расчётов по методу наименьших квадратов. Исходя из этого можно рассчитывать все статистические характеристики базовых факторов, необходимые для определения тесноты связи между факторами и параметрами оптимизации и факторами между собой.

Метод планирования эксперимента, применённый в исследовании, позволил выявить факторы, оказывающие влияние на каждый из четырёх параметров оптимизации. В результате была подтверждена явная зависимость параметров оптимизации от такого фактора, как число автобусов на маршруте, но вместе с тем были проранжированы факторы по степени их влияния на конечный результат. В то же время соответствие полученных результатов реальным и очевидным зависимостям позволяет сделать вывод о правильности выбранного метода и верной его реализации.

**Ключевые слова:** городской пассажирский транспорт, качество обслуживания пассажиров, планирование эксперимента, транспортное планирование.

**Для цитирования:** Матанцева О. Ю., Аредова А. К., Щеголева И. В. Исследование влияния факторов на качество обслуживания пассажиров и эффективность использования подвижного состава // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 4 (101). С. 98–104. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-8>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.

The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время актуальной является проблема разработки документов транспортного планирования в субъектах Российской Федерации [1; 2]. Документы включают схемы организации транспортного обслуживания населения, схемы организации дорожного движения и программы развития транспортной инфраструктуры [3–5]. Кроме того, субъекты должны разрабатывать документ планирования регулярных перевозок пассажиров<sup>1</sup>.

Основными целями, заложенными в формирование перечисленных документов, являются [6; 7]:

- повышение качества перевозок пассажиров;
- снижение расходов на перевозки при заданном уровне качества транспортного обслуживания.

Каждый из документов, связанных с транспортным планированием, включает перечень мероприятий по организации и технологии перевозок пассажиров.

Качество обслуживания пассажиров и эффективность использования подвижного состава зависят от тех или иных вариантов выбранных организационно-технологических мероприятий. Сам этот выбор зависит от многочисленных факторов, причём многие из этих факторов одновременно влияют как на качество обслуживания, так и на эффективность использования подвижного состава. Некоторые из показателей не могут быть оценены количественно или их величина не зависит от перевозчика, например, расходы пассажира на поездку или безопасность труда водителя [8–13].

В качестве метода определения существенности влияния факторов на результирующие показатели использован метод планирования эксперимента, описанный в работе Ю. П. Адлера [14]. Данный метод даёт возможность не только сократить число вариантов расчётов, но и получить количественные оценки влияния факторов с такой же достоверностью, как и при других методах.

<sup>1</sup> Методические рекомендации по разработке Документа планирования регулярных перевозок пассажиров и багажа по муниципальным и межмуниципальным маршрутам автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом (утв. Минтранс России 30.06.2020 г.). Постановление Правительства Российской Федерации от 25 декабря 2015 г. № 1440 «Об утверждении требований к программам комплексного развития транспортной инфраструктуры поселений, городских округов». Методические рекомендации по разработке документов транспортного планирования субъектов Российской Федерации, утв. Протоколом заседания рабочей группы проектного комитета по национальному проекту «Безопасные и качественные автомобильные дороги» от 12.08.2019 г. № ИА-63.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Выбор факторов и целевых функций

Для проведения анализа с помощью метода планирования эксперимента все входящие факторы были разделены на зависимые и независимые, далее из всего числа входящих факторов были отобраны не зависящие друг от друга, либо те, которые можно принять условно независимыми.

Для оценки качества и эффективности автобусных перевозок были проанализированы следующие факторы:

1. Число автобусов на маршруте –  $X_1$ .
2. Длина маршрута –  $X_2$ .
3. Время оборота –  $X_3$ .
4. Время простоя на конечных пунктах –  $X_4$ .
5. Допустимое отклонение от расписания, задаваемое в соответствии с нормативными документами –  $X_5$ .
6. Суммарное время работы водителей по разрывному графику –  $X_6$ .
7. Время работы водителей на маршруте в сутки –  $X_7$ .
8. Часы простоя –  $X_8$ .
9. Часы работы в праздничные дни –  $X_9$ .
10. Ночные часы работы всех водителей на маршруте за сутки –  $X_{10}$ .
11. Нулевой пробег всех автобусов на маршруте за сутки –  $X_{11}$ .

Планирование эксперимента – «это процедура выбора числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью» [4].

В данном случае рассчитывались значения четырёх целевых функций (параметров оптимизации): затраты времени пассажира, комфортность поездки, полнота сбора выручки и затраты пассажирской автотранспортной организации (ПАТП). На первом этапе расчётов по методике планирования эксперимента предполагается линейная зависимость каждого критериального показателя эффективности и качества от базовых факторов, т.е. строится экономико-статистическая модель в виде:

$$Y = a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_n X_n. \quad (1)$$

Чтобы получить численные значения параметров данной модели, необходимо построить матрицу планирования эксперимента для получения значения каждого из четырёх параметров оптимизации (затраты времени пассажира ( $Y_T$ ), комфортность поездки ( $Y_N$ ), полнота сбора выручки ( $Y_{\Pi}$ ) и затраты ПАТП на маршруте в сутки ( $Y_3$ )). Производится изменение значений базовых факторов.

Факторы разделяются на количественные и качественные. Качественным факторам не соответствует числовая шкала как для количе-



**Зависимость регулярности движения от времени простоя на конечном пункте [15]**

| Наименование показателя          | Условное обозначение | Значение показателя |      |      |      |      |      |
|----------------------------------|----------------------|---------------------|------|------|------|------|------|
| Время простоя на конечном пункте | $T_{\text{кон}}$     | 0                   | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    |
| Регулярность                     | $R$                  | 0,6                 | 0,71 | 0,79 | 0,85 | 0,87 | 0,88 |

ственных факторов, однако можно построить условную порядковую шкалу [4].

Для проведения расчётов с помощью метода планирования эксперимента необходимо из всего числа входных факторов отобрать взаимонезависимые, либо такие, которые в расчётах можно принять условно независимыми.

В данном случае такими факторами являются  $X_1, X_2, X_3^2, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_{10}, X_{11}$ .

Независимые факторы, относящиеся к характеристикам спроса на перевозки, такие как  $(X_{22}) l_{\text{пк}}$  (расстояние пешего хождения на маршруте),  $(X_{20}) l_{\text{ср}}$  (средняя дальность поездки пассажира на маршруте),  $(X_{21}) Q_{\text{м}}$  (пассажиропоток на максимально загруженном перегоне) в расчётах принимаются постоянными, т.к. при проведении мероприятий по совершенствованию организации работы автобусов на маршрутах работник эксплуатационной службы не может оказать влияние на их значение.

Остальные входные факторы рассчитываются по следующим формулам:

1) Время в наряде всех автобусов на маршруте  $T_{\text{н}}(X_{12})$ :

$$T_{\text{н}} = A \cdot T_{\text{р}} \quad (2)$$

где  $A$  – число автобусов на маршруте;

$T_{\text{р}}$  – средняя продолжительность работы одного автобуса на маршруте.

2) Фактическое число рейсов на маршруте  $f_{\text{ф}}(X_{13})$ :

$$f_{\text{ф}} = \frac{T_{\text{н}}}{T_{\text{об}}} \cdot 60, \quad (3)$$

где  $T_{\text{об}}$  – время оборота.

3) Плановое число рейсов на маршруте  $X_{21}$  принимается в расчётах равным  $X_{13}$ , т.е. предполагается, что выполняются все запланированные рейсы.

4) Число рейсов в исследуемый период времени  $f_{\text{иссл}}(X_{15})$ :

$$f_{\text{иссл}} = \frac{T_{\text{иссл}} \times A \times 60}{T_{\text{об}}}, \quad (4)$$

где  $T_{\text{иссл}}$  – исследуемый период времени, в расчётах равен 1 час.

В работе [15, табл. 9] между временем простоя на одном конечном пункте  $T_{\text{кон}}$  и регулярностью движения  $R$  приводится следующая взаимосвязь (см. табл. 1).

Поскольку, как известно из [15], регулярность равна частному от деления числа рейсов,

<sup>2</sup> Поскольку время оборота зависит от длины маршрута, то в матрицу первоначально подставляется эксплуатационная скорость, а затем исходя из её величины рассчитывается время оборота.

выполненных с допустимыми отклонениями,  $f_{\text{до}}$  на плановое число рейсов  $f_{\text{пл}}$ , значение  $f_{\text{до}}$  ( $X_{19}$ ) в расчётах будет определяться следующим образом:

$$f_{\text{до}} = R \cdot f_{\text{пл}}, \quad (5)$$

где  $R$  соответствует величине  $T_{\text{кон}}(X_4)$ , делённой на два, т.к. входной фактор  $T_{\text{об}}(X_3)$  учитывает время простоя на обоих конечных пунктах в среднем. Исходя из [3], соотношение между регулярностью  $R$  и допустимым отклонением от расписания  $\Delta$  может быть принято следующим:

$$R_2 = \Delta_2 \cdot 0,09 \quad (6)$$

или

$$f_{\text{до}} = f_{\text{пл}} \cdot 0,3\Delta. \quad (7)$$

Таким образом, значение входного фактора  $f_{\text{до}}$  определяется поэтапно. Сначала в зависимости от выбранного значения  $X_4$  (время простоя на конечных пунктах), затем корректируется в зависимости от принятого допустимого отклонения от расписания (в расчётах  $X_5 \leq 3$  мин).

5) время работы водителей на маршруте в сутки  $T_{\text{лин}}(X_7)$ :

$$T_{\text{лин}} = T_{\text{н}} + 0,3N_{\text{в}}, \quad (8)$$

где  $N_{\text{в}}$  – число водителей, работающих на маршруте в сутки;

0,3 – подготовительно-заключительное время каждого водителя.

### Выбор исходной информации для расчётов

Расчёт проводился для автобуса марки ЛИАЗ-5292.60, в соответствии с чем задаются значения предельной вместимости  $M_{\text{пр}}(X_{16})$  (числа мест для сидения  $M_{\text{с}}(X_{17})$  и свободной площади пола в салоне автобуса  $S_{\text{св}}(X_{19})$ .

В соответствии с требованиями теории планирования эксперимента они принимают максимальное и минимальное значения. Для всех базовых факторов устанавливаются верхний, нижний и основной (нулевой) уровни.

Численные значения этих уровней для каждого фактора определялись на основе анализа фактических значений технико-эксплуатационных показателей на 71 маршруте Московской области. Фактор  $X_1$  (число автобусов) имеет верхний уровень, который соответствует максимальному числу автобусов на маршруте из числа рассмотренных (пригородных и городских), то есть шести, а нижний уровень соответствует одному. Верхний

Таблица 2

Таблица уровней базовых факторов [выполнено авторами]

| Уровни                   | Факторы        |            |                     |                |                |                |                |                |                   |               |
|--------------------------|----------------|------------|---------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|---------------|
|                          | $X_1$<br>(шт.) | $X_2$ (км) | $X_3$<br>(мин)      | $X_4$<br>(мин) | $X_5$<br>(мин) | $X_6$<br>(час) | $X_8$<br>(час) | $X_9$<br>(час) | $X_{10}$<br>(час) | $X_{11}$ (км) |
| Основной                 | 3,5            | 15,7       | <u>73,1</u><br>157  | 6              | 2              | 42             | 6              | 6              | 3,84              | 122,5         |
| Интервал<br>варьирования | 2,5            | 13,3       | <u>61,9</u><br>133  | 4              | 1              | 30             | 4              | 4              | 2,74              | 137,5         |
| Верхний уровень          | 6              | 29         | <u>135</u><br>290   | 10             | 3              | 72             | 10             | 10             | 6,58              | 330           |
| Нижний уровень           | 1              | 2,4        | <u>11,2</u><br>24,0 | 2              | 1              | 12             | 2              | 2              | 1,097             | 55            |

Таблица 3

Численные значения производных входных факторов [выполнено авторами]

| №<br>п/п | $X_{12}$ | $X_7$ | $X_{14}$ | $X_{13}$ | $X_{15}$ | $X_{19}$ |
|----------|----------|-------|----------|----------|----------|----------|
| 1        | 2        | 3     | 4        | 5        | 6        | 7        |
| 1        | 12,0     | 12,3  | 64,3     | 64,3     | 5,36     | 45,55    |
| 2        | 12,0     | 12,3  | 2,48     | 2,48     | 0,207    | 3,78     |
| 3        | 12,0     | 12,3  | 30       | 30       | 2,5      | 21,3     |
| 4        | 12,0     | 12,3  | 5,33     | 5,33     | 0,44     | 3,78     |
| 5        | 12,0     | 12,3  | 37,5     | 37,5     | 3,125    | 29,7     |
| 6        | 12,0     | 12,3  | 5,03     | 5,03     | 0,4196   | 1,33     |
| 7        | 12,0     | 12,3  | 22,5     | 22,5     | 1,87     | 5,94     |
| 8        | 12,0     | 12,3  | 5,03     | 5,03     | 0,4196   | 3,32     |
| 9        | 72,0     | 73,8  | 386      | 386      | 32,16    | 274,06   |
| 10       | 72,0     | 73,8  | 180      | 189      | 15       | 127,8    |
| 11       | 72,0     | 73,8  | 32       | 32       | 2,67     | 22,72    |
| 12       | 72,0     | 73,8  | 225      | 225      | 18,75    | 339,68   |
| 13       | 72,0     | 73,8  | 34,5     | 34,5     | 1,21     | 11,48    |
| 14       | 72,0     | 72,8  | 135      | 135      | 11,25    | 35,64    |
| 15       | 72,0     | 73,8  | 30,2     | 30,2     | 2,52     | 7,98     |
| 16       | 72,0     | 73,8  | 14,89    | 14,89    | 1,241    | 10,57    |

и нижний уровень фактора  $X_3$  (время оборота) определены для каждого конкретного значения фактора  $X_2$  (длина маршрута) с учётом выполнения условия: эксплуатационная скорость на маршруте принимает максимальное значение, равное 25,7 км/час и минимальное значение, равное 12 км/час. В результате (см. табл. 2) верхнему уровню  $X_2 = 29$  соответствует верхний уровень  $X_3 = 290$  и нижний уровень  $X_3 = 135$ , нижнему уровню  $X_2 = 2,4$  соответствует верхний уровень  $X_3 = 24$  и нижний уровень  $X_3 = 11,2$ .

Далее выбираются интервалы варьирования (свои для каждого базового фактора), равные полусумме верхнего и нижнего уровней фактора. Эти уровни и интервалы варьирования представлены в табл. 2.

Характеристики спроса на перевозки на маршруте остаются постоянными, характеристика по «сети» приравнивается к нулю, а остальные входные факторы рассчитываются в соответствии с функциональными зависимостями. Результаты расчётов значений зависимых (производных) входных факторов приведены в табл. 3.

Полным факторным экспериментом, как известно, называется эксперимент, в котором реализуются все возможные сочетания уровней факторов. Если число уровней каждого фактора равно двум, то имеем полный факторный эксперимент типа  $2^k$ , где 2 – число уровней,  $k$  – число факторов (см. табл. 4).

Условия эксперимента представляются в виде таблицы – матрицы планирования, где строки соответствуют различным опытам, а столбцы – значениям факторов.

Коэффициенты, вычисленные по результатам эксперимента, указывают на силу влияния фактора. Величина коэффициента соответствует вкладу данного фактора в величину параметра оптимизации при переходе фактора с нулевого уровня на верхний или нижний.

**Результаты исследований на основе метода планирования эксперимента**

В результате исследований было установлено, что на  $Y_r$ ,  $Y_n$ ,  $Y_{II}$  влияют пять базовых факторов, а на  $Y_3$  – десять. Специфика задачи состоит в том, что для всех четырёх парамет-



Таблица 4

Матрица планирования эксперимента 2<sup>3</sup> [выполнено авторами]

| Номер опыта | $x_1$ | $x$ | $y$   | Номер опыта | $x_1$ | $x_1$ | $y$   |
|-------------|-------|-----|-------|-------------|-------|-------|-------|
| 1           | -1    | -1  | $y_1$ | 3           | -1    | +1    | $y_3$ |
| 2           | +1    | -1  | $y_2$ | 4           | +1    | +1    | $y_4$ |

Таблица 5

Матрица планирования эксперимента [выполнено авторами]

| № п/п | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ | $X_4$ | $X_5$ | $X_6$ | $X_8$ | $X_9$ | $X_{10}$ | $X_{17}$ | $Y_T$  | $Y_N$ | $Y_{II}$ | $Y_3$  |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|--------|-------|----------|--------|
| 1     | –     | –     | –     | –     | +     | +     | +     | +     | +        | –        | 23,26  | 0*    | 0,905    | 71,47  |
| 2     | –     | +     | –     | –     | –     | –     | –     | +     | +        | +        | 101,06 | 7,39  | 0,88     | 53,15  |
| 3     | –     | –     | +     | –     | –     | +     | +     | –     | +        | +        | 12,28  | 0     | 0,92     | 101,63 |
| 4     | –     | +     | +     | –     | +     | –     | –     | –     | +        | –        | 99,54  | 2,27  | 0,811    | 103,88 |
| 5     | –     | –     | –     | +     | +     | –     | +     | –     | –        | +        | 27,26  | 0     | 0,898    | 59,73  |
| 6     | –     | +     | –     | +     | –     | +     | –     | –     | –        | –        | 103,54 | 2,49  | 0,806    | 84,85  |
| 7     | –     | –     | +     | +     | –     | –     | +     | +     | –        | –        | 16,18  | 0     | 0,91     | 73,57  |
| 8     | –     | +     | +     | +     | +     | +     | –     | +     | –        | +        | 203,56 | 7,49  | 0,606    | 104,85 |
| 9     | +     | –     | –     | –     | +     | +     | –     | +     | –        | –        | 13,32  | 0     | 0,904    | 388,85 |
| 10    | +     | –     | +     | –     | –     | +     | –     | –     | –        | +        | 8,77   | 0     | 0,9      | 521,1  |
| 11    | +     | +     | +     | –     | +     | –     | +     | –     | –        | –        | 43,29  | 2,23  | 0,813    | 560,32 |
| 12    | +     | –     | –     | +     | +     | –     | –     | –     | +        | +        | 13,97  | 0     | 0,898    | 271,87 |
| 13    | +     | +     | –     | +     | –     | +     | +     | –     | +        | –        | 86,85  | 7,64  | 0,677    | 399,16 |
| 14    | +     | –     | +     | +     | –     | –     | –     | +     | +        | –        | 8,86   | 0     | 0,901    | 403,76 |
| 15    | +     | +     | +     | +     | +     | +     | +     | +     | +        | +        | 43,97  | 2,49  | 0,81     | 497,33 |
| 16    | +     | +     | –     | –     | –     | –     | +     | +     | –        | +        | 81,51  | 7,396 | 0,68     | 304,7  |

\* Наполнение ( $Y_N$ ) равное 0 означает, что все пассажиры в автобусе сидят, и нет ни одного стоящего.

ров оптимизации можно построить одну и ту же матрицу. Для проведения полного факторного эксперимента при варьировании десяти факторов на двух уровнях необходимо провести  $2^{10} = 1024$  вариантов расчётов. Однако в соответствии с [14, табл. 7.2] можно ограничиться в данном случае использованием  $1/64$  – реплики от  $2^{10}$  и провести всего  $2^{10-6} = 2^4 = 16$  вариантов расчётов, то есть в 64 раза меньше. При построении матрицы планирования эксперимента нет необходимости оценивать эффекты взаимодействия факторов, поскольку значения параметров оптимизации  $Y_T$ ,  $Y_N$ ,  $Y_{II}$ ,  $Y_3$  для каждой из строчек матрицы были определены зависимости между факторами и параметрами. Для проведения расчётов в соответствии с установленными зависимостями показателей и факторов были заданы значения всем факторам, относящимся к входным. Эти значения приняты следующими, исходя из рассматриваемых статистических данных: при  $X_8 = 2,4$  км  $X_{20} = 1,8$  км; при  $X_2 = 29$  км  $X_{20} = 8,9$  км;  $X_{17} = 25$  мест;  $X_{21} = 22$  чел. при  $X_1 = 1$  автобус; при  $X_1 = 6$  авт.  $X_{21} = 132$  чел;  $X_{16} = 110$  мест;  $X_{22} = 0,1$  км при  $X_2 = 2,4$  км и  $X_{22} = 0,3875$  км при  $X_2 = 29$  км;  $T_p = 12$  час;  $N_B = 1$  чел. на каждом автобусе. В табл. 5 приведена матрица планирования эксперимента с рассчитанными по установленным зависимостям

значениями параметров оптимизации для каждой строки матрицы.

По результатам расчётов, представленных в матрице планирования эксперимента, могут быть определены коэффициенты в уравнениях регрессии для каждого из параметров оптимизации из формулы (2). Однако для данного последования нет необходимости строить уравнения регрессии, поскольку здесь необходимо определить степень влияния каждого из факторов на параметры оптимизации.

Как показано в [14, глава 10] коэффициенты регрессии, получаемые при расчётах по матрице планирования эксперимента, тождественны тем, какие можно было бы получить в результате расчётов по методу наименьших квадратов. Исходя из этого можно рассчитывать все статистические характеристики базовых факторов, необходимые для определения тесноты связи между факторами и параметрами оптимизации и факторами между собой. Результаты расчётов представлены в табл. 6.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применённый в исследовании метод планирования эксперимента позволил выявить факторы, оказывающие влияние на каждый из четырёх параметров оптимизации.

Таблица 6

## Результаты расчётов статистических параметров [выполнено авторами]

| Статистическая характеристика | Параметры оптимизации |        |          |        |
|-------------------------------|-----------------------|--------|----------|--------|
|                               | $Y_T$                 | $Y_N$  | $Y_{II}$ | $Y_3$  |
| $\bar{Y}_i$                   | 55,45                 | 2,15   | 0,832    | 250,01 |
| $\bar{X}_1$                   | 3,5                   | 3,5    | 3,5      | 3,5    |
| $\bar{X}_2$                   | 15,7                  | 15,7   | 15,7     | 15,7   |
| $\bar{X}_4$                   | 6                     | 6      | 6        | 6      |
| $\bar{X}_3$                   | 109,36                | 109,36 | 109,36   | 109,36 |
| $\bar{X}_5$                   | 2                     | 2      | 2        | 2      |
| $\bar{X}_6$                   | 21                    | 21     | 21       | 21     |
| $\bar{X}_8$                   | 6                     | 6      | 6        | 6      |
| $\bar{X}_9$                   | 6                     | 6      | 6        | 6      |
| $\bar{X}_{10}$                | 1,92                  | 1,92   | 1,92     | 1,92   |
| $\bar{X}_{11}$                | 96,25                 | 96,25  | 96,25    | 36,25  |
| $\sigma_{x1}$                 | 2,5                   | 2,5    | 2,5      | 2,5    |
| $\sigma_{x2}$                 | 13,3                  | 13,3   | 13,3     | 13,3   |
| $\sigma_{x3}$                 | 4                     | 4      | 4        | 4      |
| $\sigma_{x4}$                 | 102,36                | 102,36 | 102,36   | 102,36 |
| $\sigma_{x5}$                 | 1                     | 1      | 1        | 1      |
| $\sigma_{x6}$                 | 29,85                 | 29,85  | 29,85    | 29,85  |
| $\sigma_{x8}$                 | 4                     | 4      | 4        | 4      |
| $\sigma_{x9}$                 | 4                     | 4      | 4        | 4      |
| $\sigma_{x10}$                | 2,73                  | 2,73   | 2,73     | 2,73   |
| $\sigma_{x11}$                | 136,81                | 136,81 | 136,81   | 136,81 |
| $\sigma_Y$                    | 51,72                 | 52,72  | 0,0849   | 181,83 |
| $r_{x1y}$                     | -0,346                | -      | -        | 0,926  |
| $r_{x2y}$                     | 0,773                 | 0,776  | -0,843   | 0,074  |
| $r_{x3y}$                     | 0,146                 | 0,073  | -0,082   | -0,072 |
| $r_{x4y}$                     | 0,813                 | 0,987  | -0,993   | -0,037 |
| $r_{x5y}$                     | 0,183                 | 0,35   | -0,28    | 0,029  |
| $r_{x6y}$                     |                       |        |          | 0,58   |
| $r_{x8y}$                     |                       |        |          | 0,046  |
| $r_{x9y}$                     |                       |        |          | 0,084  |
| $r_{x10y}$                    |                       |        |          | 0,38   |
| $r_{x15y}$                    |                       | -0,542 | 0,499    |        |
| $r_{x11y}$                    |                       |        |          | 0,534  |
| R                             | 0,812                 | 0,636  | 0,579    | 0,989  |

Примечание:  $\bar{X}_i$ ,  $\bar{Y}$  – средняя арифметическая величина;  $\sigma_{x_i}$ ,  $\sigma_Y$  – среднее квадратическое отклонение;  $r_{xy}$  – коэффициент парной корреляции; R – совокупный коэффициент корреляции.

Анализ коэффициентов парной корреляции показывает, что наиболее существенное влияние на  $Y_T$ ,  $Y_N$ ,  $Y_{II}$  оказывают факторы  $X_2$  и  $X_3$ , а, следовательно, и зависимые от них функционально факторы  $X_{13}$  и  $X_{15}$ . Влияние фактора

$X_{15}$  на наполнение ( $Y_N$ ) и полноту сбора выручки ( $Y_{II}$ ) рассмотрено отдельно, поскольку на данные параметры, исходя из того, что они рассчитываются для часов пик, более существенное влияние оказывает не общее число



автобусов на маршруте в часы пик, а количество рейсов, выполненных ими ( $X_{15}$ ) в этот период.

Фактор  $X_1$  оказывает также существенное влияние на  $Y_r$ ,  $Y_{N^*}$ ,  $Y_{П^*}$ , однако коэффициент парной корреляции  $r_{x_1 y}$  имеет невысокое значение, поскольку параметр оптимизации  $Y_r$  включает четыре составляющие, а фактор  $X_1$  влияет только на одну составляющую затрат времени пассажира ( $Y_T$ ) –  $T_{ож}$  (время ожидания). На параметр оптимизации  $Y_3$  наиболее существенное влияние оказывают факторы  $X_1$  и  $X_{11}$ . Хотя полученные результаты подтвердили известную зависимость параметров оптимизации от фактора  $X_1$  (число автобусов), но вместе с тем они позволили ранжировать факторы по степени их влияния на конечный результат. В то же время соответствие полученных результатов реальным и очевидным зависимостям позволяет сделать вывод о правильности выбранного метода и верной его реализации.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Матанцева О. Ю. Экономические основы формирования документа планирования перевозок пассажиров // В сб. Национальные и международные финансово-экономические проблемы автомобильного транспорта. Сб. научных трудов. Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет. – М.: МАДИ, 2018. – С. 26–32. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36686707>. Доступ 24.08.2022.
2. Спирин И. В., Матанцева О. Ю., Гришаева Ю. М., Савосина М. И. Планирование устойчивого развития регулярных перевозок пассажиров в городах России // Безопасность колёсных транспортных средств в условиях эксплуатации: материалы 106-й Международной науч.-техн. конференции, Иркутск, 23–26 апреля 2019 года. – Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2019. – С. 629–636. [Электронный ресурс]: [https://www.niiat.ru/files/publications/2019/planirovaniye\\_ustojchivogo\\_razvitiya\\_regulyarnykh\\_perevozok\\_passazhirov\\_v\\_gorodah\\_rossii.pdf](https://www.niiat.ru/files/publications/2019/planirovaniye_ustojchivogo_razvitiya_regulyarnykh_perevozok_passazhirov_v_gorodah_rossii.pdf). Доступ 24.08.2022.
3. Спирин И. В. Городские автобусные перевозки: Справочник. – М.: Транспорт, 1991. – 237. ISBN 5-227-01139-0.
4. Матанцева О. Ю., Аредова А. К. Перевозки пассажиров транспортом общего пользования: основные экономические проблемы и пути их решения // Транспорт Российской Федерации. – 2018. – № 2 (75). – С. 65–69. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/perevozki-passazhirov-transportom-obschego-polzovaniya>

osnovnye-ekonomicheskie-problemy-i-puti-ih-resheniya. Доступ 24.08.2022.

5. Матанцева О. Ю. Основы экономики автомобильного транспорта: Учеб. пособие. – М.: Юстицинформ, 2020. – 256 с. ISBN 978-5-7205-1503-4.
6. Спирин И. В. Научные основы комплексной реструктуризации городского пассажирского транспорта: Монография. – М.: Каталог, 2007. – 200 с. ISBN 978-5-94349-128-3.
7. Улицкая Н. М., Скороходова А. В. Основные проблемы качества перевозок пассажиров городским общественным транспортом в России // Национальные и международные финансово-экономические проблемы автомобильного транспорта: Сб. научных трудов / Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ). – М.: ООО «Экон-Информ», 2018. – С. 11–18. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36846313>. Доступ 24.08.2022.
8. Гришаева Ю. М., Матанцева О. Ю., Спирин И. В., Савосина М. И., Ткачева З. Н., Васин Д. В. Устойчивое развитие транспорта в городах России: опыт и актуальные задачи // Юг России: экология, развитие. – 2018. – Т. 13. – № 4. – С. 24–46. DOI: 10.18470/1992-1098-2018-4-24-46.
9. Донченко В. В., Ибраев К. А., Енин Д. В., Евсеев О. В. Методологические подходы к разработке и применению стандартов транспортного обслуживания населения // Автотранспортное предприятие. – 2016. – № 6. – С. 22–25. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26165081>. Доступ 24.08.2022.
10. Енин Д. В., Венде Ф. Логистика в транспортных системах городов. Перспективы подготовки кадров // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2019. – № 1 (56). – С. 113–119. [Электронный ресурс]: <https://www.madi.ru/3803-vestnik-moskovskogo-avtomobilno-dorozhnogo-gosudarstvennogo.html>. Доступ 24.08.2022.
11. Alyoubi, B. A. Smart Cities in Shaping the Future of Urban Space: Technical Perspective and Utilitarian Aspects. Journal of Fundamental and Applied Sciences, 2017, Vol. 9, pp. 1749–1770. Appendix: 1, Special issue: SI. DOI: 10.4314/jfas.v9i1s.816.
12. Grishaeva, Yu. M., Spirin, J. V., Matantseva, O. Yu. Aspects of Professional Education in the Higher School in the Interests of the Techno-Sphere Safety // Современные исследования социальных проблем, 2016, Iss. 9, pp. 5–18. [Электронный ресурс]: <http://journal-s.org/index.php/sisp/article/view/9469>. Доступ 24.08.2022.
13. May, A. D. Urban Transport and Sustainability: The Key Challenges. International Journal of Sustainable Transportation, 2013, Vol. 7, Iss. 3, pp. 170–185. DOI: 10.1080/15568318.2013.710136.
14. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 280 с. [Электронный ресурс]: <https://lib-bkm.ru/10467>. Доступ 24.08.2022.
15. Блатнов М. Д. Пассажиры автомобильных перевозок: Учебник для автоинженеров. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1981. – 222 с. ●

### Информация об авторах:

**Матанцева Ольга Юрьевна** – доктор экономических наук, кандидат технических наук, доцент, заместитель генерального директора ОАО «НИИАТ» по научной работе, профессор Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва, Россия, [omat@niiat.ru](mailto:omat@niiat.ru).

**Аредова Анна Константиновна** – кандидат экономических наук, научный сотрудник ОАО «НИИАТ», Москва, Россия, [aredova@niiat.ru](mailto:aredova@niiat.ru).

**Щеголева Ирина Викторовна** – младший научный сотрудник ОАО «НИИАТ», Москва, Россия, [ishegoleva@niiat.ru](mailto:ishegoleva@niiat.ru).

Статья поступила в редакцию 24.08.2022, одобрена после рецензирования 12.09.2022, принята к публикации 14.09.2022.



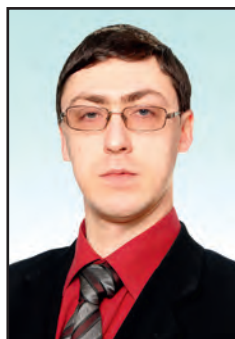
## Совершенствование транспортного обслуживания в городе Брянске



Владимир СИВАКОВ



Виктор КАМЫНИН



Петр ТИХОМИРОВ

*Владимир Викторович Сиваков<sup>1</sup>, Виктор Викторович Камынин<sup>2</sup>, Петр Викторович Тихомиров<sup>3</sup>*

*<sup>1, 2, 3</sup> Брянский государственный инженерно-технологический университет, Брянск, Россия.*

*✉ <sup>1</sup> sv@bgitu.ru.*

### АННОТАЦИЯ

Объектом исследования статьи является пассажирская транспортная сеть города Брянска. Совершенствование транспортного обслуживания населения решается в разрезе модернизации средств транспорта, транспортной инфраструктуры и углубленного внедрения цифровых технологий. На основе аналитического метода проведена оценка состояния транспортного комплекса города Брянска, включающая в себя несколько взаимосвязанных направлений, обеспечивающих высокое качество транспортного обслуживания. Данные получены путём исследования открытых интернет-ресурсов, в том числе интернет-сайта администрации г. Брянска, натурных наблюдений.

Работы по обновлению парка маршрутных транспортных средств производятся в рамках «Концепции развития транспорта общего пользования города Брянска на период 2015–2025 годы», что привело за последние четыре года к существенному обновлению автобусного парка средней и большой вместимости и снижению доли автобусов малой вместимости. Также существенно модернизирована дорожная сеть.

Проанализированы с точки зрения степени дублирования маршруты городского пассажирского транспорта. Предложены направления совершенствования маршрутов транспортной сети.

**Ключевые слова:** транспорт, городской пассажирский транспорт, транспортная сеть, дублирование маршрутов, пассажирские перевозки.

*Для цитирования:* Сиваков В. В., Камынин В. В., Тихомиров П. В. Совершенствование транспортного обслуживания в г. Брянске // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 4 (101). С. 105–110. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-9>.

**Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.  
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.**

## ВВЕДЕНИЕ

Во многих крупных городах сложилась ситуация, когда ряд маршрутов дублируют друг друга. Это приводит к излишней загруженности улиц, дополнительным выбросам отработанных газов, снижению прибыльности маршрутов, нехватке транспорта для организации перевозок пассажиров в масштабе всего города [1; 2].

Особую актуальность данная проблема приобретает в случае большой протяжённости городских маршрутов и большого пассажиропотока. Это в полной мере относится и к г. Брянску, включающему четыре района, удалённых друг от друга. Районы связаны магистральными дорогами по 4–6 полос, основные маршруты проходят по ним, соединяя Бежицкий, Фокинский и Володарский районы в основном через центральный район города – Советский.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Предметом настоящего исследования является оценка дублирования (совмещённости) отдельных маршрутов транспортной сети городского пассажирского транспорта города Брянска, пассажирские перевозки в котором осуществляются как муниципальным транспортом, включающим автобусы большой вместимости, работающие по 47 маршрутам, и троллейбусы, работающие по 13 маршрутам, так и коммерческим транспортом, состоящим из маршрутных транспортных средств малой вместимости, работающих по 40 маршрутам [3; 4].

Основой совершенствования городского пассажирского транспорта является «Концепция развития транспорта общего пользования города Брянска на период 2015–2025 годы»<sup>1</sup>, в рамках которой уже выполнен ряд мероприятий: практически на 100 % заменён автобусный парк муниципальных автопредприятий, запланированы и введены в эксплуатацию новые автодороги, построен ряд кольцевых развязок [3], проведены исследования отдельных пассажиропотоков [5] (но только части от запланированных); внедрён ряд мероприятий, позволивших осуществить цифровизацию пассажирских перево-

зок (установка GPS/ГЛОНАСС приёмников, отображающих положение транспортных средств на электронной карте, в мобильных приложениях; внедрение средств цифровой безналичной оплаты и др.)<sup>2</sup> [6]. В настоящее время прорабатывается вопрос о замене полностью изношенного парка троллейбусов (в том числе путём подачи заявки по федеральной программе) [7], планируется приобретение ста новых троллейбусов (первая партия уже закуплена и ожидается её поставка), корректируются маршруты общественного транспорта. При выборе троллейбусов рассматриваются варианты приобретения части троллейбусов с запасом автономного хода. Актуальность корректирования маршрутов общественного транспорта подтверждается работами как отечественных авторов [8–10], так и зарубежных [11–13].

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

Совершенствование маршрутов городского пассажирского транспорта большинством автором [14–16; 18] предполагается, в первую очередь, за счёт нахождения наиболее дублируемых маршрутов и их исключения или корректировки.

Автором [17] предложен новый метод определения показателя дублирования маршрутов с использованием показателя смежности маршрутов, учитывающего направления и объёмы корреспонденций пассажиров, что позволяет, по его расчётам, более корректно решать задачи транспортного планирования. Однако данный метод требует проведения значительного объёма исследований, и, следовательно, временных и финансовых затрат. Для первичной оценки маршрутов целесообразно воспользоваться первым методом, в котором маршруты по степени маршрутной совмещённости (дублирования) выделяют в три группы, создаваемые по длине совпадения рассматриваемого маршрута:

- для первой группы характерна низкая степень совпадения (от 30 до 50 % от протяжённости маршрута) с возможностью синхронизации расписания совпадающих маршрутов или же их объединения в один, более длинный;
- для второй группы степень совпадения средняя (от 50 до 75 % протяжённости маршрута);

<sup>1</sup> Постановление БГА от 23.03.2015 г. № 772-п «Об утверждении «Концепции развития транспорта общего пользования города Брянска на период 2015–2025 годы». [Электронный ресурс]: [http://bga32.ru/uploads/2016/06/bga32-ru-Post-772\\_23-03-2015.pdf](http://bga32.ru/uploads/2016/06/bga32-ru-Post-772_23-03-2015.pdf). Доступ 10.12.2021.

<sup>2</sup> Официальный сайт Общественный транспорт города Брянска. [Электронный ресурс]: <http://www.transport32.ru/>. Доступ 02.12.2021.

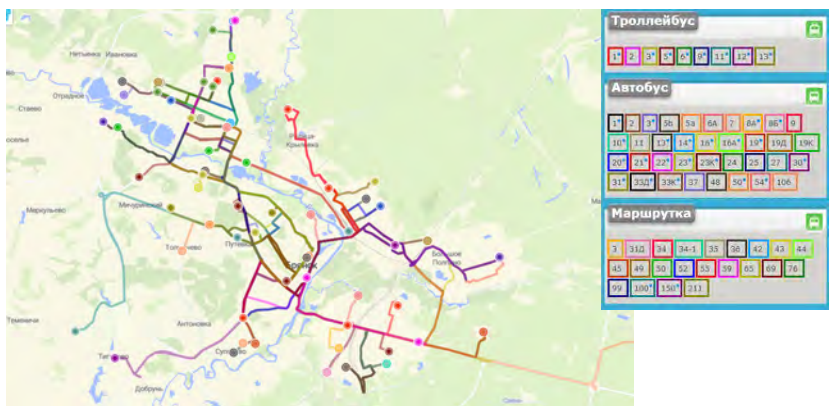


Рис. 1. Схема сети муниципального пассажирского транспорта города Брянска. ([Сайт «Маршруты общественного транспорта Брянска»]. [Электронный ресурс]: <https://www.eway24.ru/cities/bryansk>. Доступ 03.12.2021).

Таблица 1

Маршруты г. Брянска с высокой степенью совмещённости

| Вторая группа маршрутов (от 50 до 75 %) |                    | Третья группа маршрутов (более 75 %) |                     |
|-----------------------------------------|--------------------|--------------------------------------|---------------------|
| M-10 – M-28 (50 %)                      | M-10 – M-36 (50 %) | M-3 – M-31 (90 %)                    | M-10 – M-35 (100 %) |
| M-10 – M-42 (50 %)                      | M-44 – M-42 (57 %) | M-28 – M-49 (84 %)                   | A-8 – M-99 (83 %)   |
| M-10 – M-43 (50 %)                      | M-44 – M-49 (52 %) | M-44 – M-36 (75 %)                   | A-11 – M-99 (81 %)  |
| M-28 – M-88 (60 %)                      | M-44 – M-52 (57 %) | M-47 – M-34 (78 %)                   | A-23 – M-99 (80 %)  |
| M-28 – M-99 (60 %)                      | M-45 – M-43 (50 %) | M-47 – M-38 (77 %)                   | A-3 – A-54 (96 %)   |
| M-34 – M-35 (50 %)                      | M-47 – M-35 (56 %) | M-49 – M-99 (78 %)                   | A-54 – A-3 (97 %)   |
| M-34 – M-47 (70 %)                      | M-47 – M-43 (70 %) | M-49 – M-52 (82 %)                   | M-55 – A-9 (92 %)   |
| M-34 – M-49 (50 %)                      | M-47 – M-99 (54 %) | M-50 – M-34 (75 %)                   | M-38 – A-11 (85 %)  |
| M-35 – M-10 (52 %)                      | M-49 – M-28 (62 %) | A-37 – M-28 (77 %)                   | M-10 – A-25 (75 %)  |
| M-35 – M-34 (70 %)                      | M-49 – M-38 (63 %) | A-3 – M-36 (91 %)                    | M-35 – A-10 (78 %)  |
| M-35 – M-38 (50 %)                      | M-49 – M-88 (59 %) | A-54 – M-36 (80 %)                   | M-69 – A-27 (91 %)  |
| M-35 – M-47 (70 %)                      | M-50 – M-47 (52 %) | A-11 – M-38 (85 %)                   | M-3 – A-31 (90 %)   |
| M-35 – M-49 (50 %)                      | M-50 – M-52 (60 %) | A-48 – M-43 (75 %)                   | M-34 – A-31 (86 %)  |
| M-35 – M-52 (60 %)                      | M-50 – M-59 (74 %) | A-1 – M-52 (99 %)                    | M-47 – A-31 (97 %)  |
| M-35 – M-99 (70 %)                      | M-52 – M-38 (52 %) | A-11 – M-52 (95 %)                   | M-43 – A-48 (82 %)  |
| M-36 – M-42 (67 %)                      | M-52 – M-99 (73 %) | A-9 – M-55 (91 %)                    | M-65 – M-59 (77 %)  |
| M-36 – M-44 (64 %)                      | M-55 – M-59 (58 %) | A-8 – M-59 (86 %)                    | T-1 – T-6 (80 %)    |
| M-38 – M-42 (74 %)                      | M-55 – M-65 (62 %) | A-10 – M-76 (93 %)                   | T-6 – A-11 (93 %)   |
| M-38 – M-47 (73 %)                      | M-59 – M-65 (54 %) | T-2 – M-43 (96 %)                    | T-2 – M-45 (96 %)   |
| M-38 – M-49 (74 %)                      | M-65 – M-55 (70 %) | T-9 – M-50 (81 %)                    | T-9 – T-11 (89 %)   |
| M-42 – M-36 (65 %)                      | M-69 – M-34 (53 %) |                                      |                     |
| M-42 – M-38 (69 %)                      | M-69 – M-45 (58 %) |                                      |                     |
| M-43 – M-47 (74 %)                      | M-69 – M-47 (58 %) |                                      |                     |
| M-99 – M-52 (70 %)                      | M-88 – M-49 (59 %) |                                      |                     |
|                                         | T-9 – A-50 (68 %)  |                                      |                     |

Примечание: М – маршрутное транспортное средство, А – автобус, Т – троллейбус.

рута), требуется отмена одного из маршрутов либо корректировка графика их движения;

- для третьей группы свойственна высокая степень совпадения (свыше 75 % протяжённости маршрута), что нецелесообразно, поэтому требуется подробный пространственный анализ таких маршрутов.

Первоочередной задачей пространственного анализа является изучение маршрутов с большим количеством дублирующих маршрутов, то есть второй и третьей группы.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно данной методике и данным [18] осуществлено распределение маршру-

тов по степени дублирования. Их визуализация представлена на рис. 1. Маршруты с высокой степенью совмещённости (вторая и третья группы) представлены в табл. 1.

Рассматривая маршруты с высокой степенью совмещённости, необходимо отметить, что наиболее часто происходит дублирование маршрутных транспортных средств (48 из 49 во второй группе и 10 из 40 в третьей группе, муниципальный транспорт, представленный автобусами и троллейбусами, дублируется маршрутными транспортными средствами – 27 из 40 в третьей группе, при этом имеется шесть троллейбусных маршрутов, дублируе-



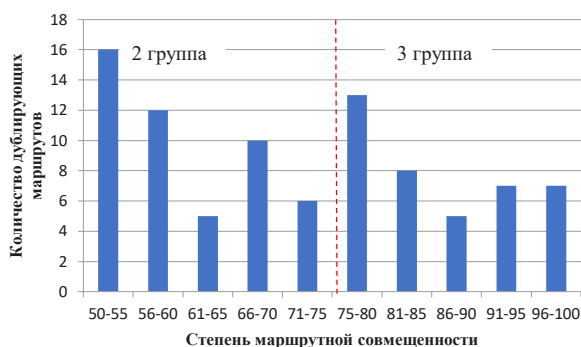


Рис. 2. Распределение числа маршрутов по степени совмещенности [Составлено авторами по данным сайта «Маршруты общественного транспорта Брянска». [Электронный ресурс]: <https://www.eway24.ru/cities/bryansk>. Доступ 03.12.2021.

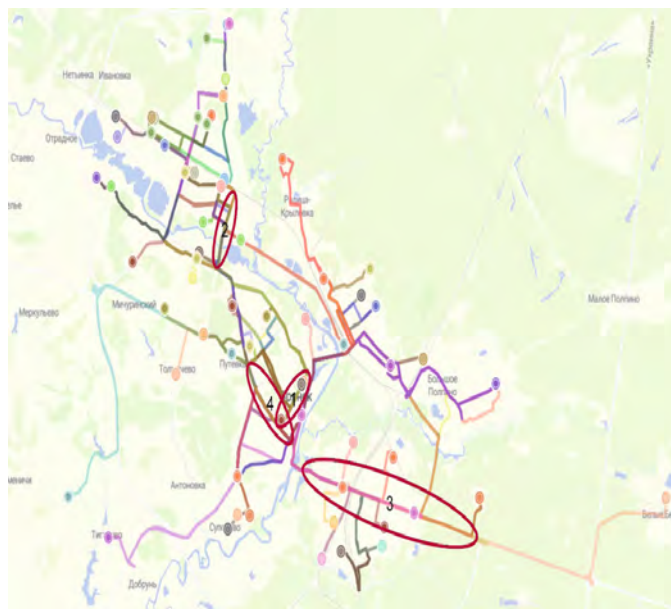


Рис. 3. Улицы с наибольшим количеством дублирующих маршрутов [Составлено авторами по данным сайта «Маршруты общественного транспорта Брянска». [Электронный ресурс]: <https://www.eway24.ru/cities/bryansk>. Доступ 03.12.2021.



Рис. 4. Построенная защитная дорога – дамба «Брянск 1–Брянск 2» [Составлено авторами по данным статьи «В Брянске началось строительство дороги от вокзала до «Метро». [Электронный ресурс]: <https://news.nashbryansk.ru/2019/11/13/routine/nachalos-stroitelstvo-dorogi-bryansk-1—bryansk/>. Доступ 03.12.2021.



Рис. 5. Планируемая дорога [Выполнено авторами по данным статьи «Власти Брянска представили проект новой дороги от Телецентра к Чёрному мосту. С двумя новыми «кольцами». [Электронный ресурс]: <https://bryansk.news/2021/11/22/proekt-dorogi-telecentr>. Доступ 03.12.2021.

мых автобусами и два троллейбусных маршрута, дублируемых троллейбусами). Дублирование троллейбусных и автобусных маршрутов в настоящее время связано с нехваткой исправных троллейбусов, при решении проблемы с заменой троллейбусного парка необходимо будет проведение корректировки данных маршрутов.

Наибольшее количество дублирующих маршрутов проходит через основные транспортные артерии города (рис. 3): проспект Ленина – 18 маршрутов (1), улицу Ульянова – 19 маршрутов (2), Московский проспект – 27 маршрутов (3) и улицу Красноармейскую – 24 маршрута (4).

Решению проблемы с дублируемыми маршрутами могла бы помочь организация проезда в городе по единому проездному документу, например, как в г. Москве, где, по данным<sup>3</sup> «с 1 сентября 2021 года в автобусах, трамваях и электробусах можно совершать пересадки бесплатно при условии оплаты проезда картой «Тройка» по тарифам «Кошелёк» или «Единый на 60 поездок» в течение 90 мин. и смены маршрута. При поездке по тарифу «Кошелёк» за первую поездку списывалось 42 руб., за последующие – 0 руб. При поездке по «Единому» списывается только одна поездка, сколько бы видов транспорта пассажир ни сменил». Применение такой системы в г. Брянске позволило бы сделать ряд маршрутов короче, до основных пересадочных пунктов (например, Автовокзал, пл. Ленина, Аэропарк и некоторые другие – их перечень установлен проведёнными ранее исследованиями [18]), убрав дублирующие маршруты и снизив транспортную загруженность основных дорог.

<sup>3</sup> Оплата проезда в Москве. [Электронный ресурс]: [https://www.tutu.ru/2read/articles/moscow\\_fares/](https://www.tutu.ru/2read/articles/moscow_fares/). Доступ 03.12.2021.

Для разгрузки существующих маршрутов построен ряд новых дорог, например защитная дорога – дамба «Брянск 1–Брянск 2» (рис. 4), связавшая Фокинский и Бежицкий районы, минуя центр (Советский район), что позволило добираться на 30–40 % быстрее между районами. Для её использования горожане обратились к отделу по транспорту горадминистрации с просьбой пустить автобус по новой дороге между Володарским и Фокинским районами, организовав новый маршрут либо изменив существующие: «Мясокомбинат–ж.д. вокзал–Дружба (или Камвольный комбинат)», «Мясокомбинат–ж.д. вокзал–микрорайон Автозаводец» или «Бордовичи–станция Снежетьская» (объединение 19 и 16А маршрутов). Данное направление позволит разгрузить самые длинные рейсы на 31-м маршруте<sup>4</sup>.

Также планируется строительство новых дорог, например, четырёхполосной дороги от Телецентра к мосту в Фокинский район (рис. 5) – с началом в районе пересечения с 4-м Карачижским переулком, вниз к р. Десне и вдоль берега с выходом к улице Калинина в районе моста. С обеих сторон предусмотрены новые кольцевые развязки, а также два надземных пешеходных перехода<sup>5</sup>.

## ВЫВОДЫ

1. Существующая маршрутная пассажирская транспортная сеть города несовершенна

<sup>4</sup> В Брянске предложили разработать автобусный маршрут для новой дороги. [Электронный ресурс]: [https://www.bragazeta.ru/news/2021/09/27/v-bryanske-aktivisty-predlozhili-pustit-avtobusnyj-marshrut-po-novoj-doroge/?utm\\_source=yxnews&utm\\_medium=desktop](https://www.bragazeta.ru/news/2021/09/27/v-bryanske-aktivisty-predlozhili-pustit-avtobusnyj-marshrut-po-novoj-doroge/?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop). Доступ 03.12.2021.

<sup>5</sup> Власти Брянска представили проект новой дороги от Телецентра к Чёрному мосту. С двумя новыми «кольцами». [Электронный ресурс]: <https://bryansk.news/2021/11/22/proekt-dorogi-telecentr/>. Доступ 03.12.2021.



и при своём развитии должна учитывать перспективы развития улично-дорожной сети, а также мнения инициативных групп жителей города.

2. При проведении анализа маршрутной совмещённости установлено наличие большого числа дублирующих маршрутов 2 и 3 групп.

3. Дублирование троллейбусных и автобусных маршрутов в настоящее время связано с нехваткой исправных троллейбусов, при их замене необходима корректировка данных маршрутов.

4. Для решения проблемы с дублированием маршрутных транспортных средств необходимо совершенствовать выявленные дублируемые маршруты, а также вводить вместо них новые автобусные и троллейбусные маршруты.

5. Целесообразна организация проезда в городе по единому проездному документу, позволяющему совершать пересадки бесплатно в течение ограниченного периода времени, что снизило бы нагрузку на транспортную сеть города.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Basso, L., Navarro, M., Silva, H. Public transport and urban structure. *Economics of Transportation*, 2021, Vol. 28, pp. 100232. DOI:10.1016/j.ecotra.2021.100232.
2. Owais, M., Moussa, G. Optimal circular bus routes planning for transit network design problem in urban areas. *Journal of engineering sciences*, 2013, Vol. 41, pp. 1447–1466. DOI: 10.21608/JESAUN.2013.114867.
3. Сиваков В. В., Камынин В. В., Тихомиров П. В. Совершенствование городских пассажирских перевозок (на примере г. Брянска) // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. – 2020. – № 4. – С. 61–69. DOI: 10.15593/24111678/2020.04.07.
4. Боровая К. С., Сиваков В. В. Исследование транспортной инфраструктуры города Брянска (улично-дорожной сети) // *Экономика и эффективность организации производства*. – 2018. – № 28. – С. 57–61. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36476736>. Доступ 05.08.2022.
5. Сиваков В. В., Тихомиров П. В., Камынин В. В., Силицын С. С. Анализ результатов обследования пассажиропотоков на отдельных маршрутах коммерческого транспорта в г. Брянске // *Мир транспорта и технологических машин*. – 2020. – № 4 (71). – С. 46–53. DOI: 10.33979/2073-7432-2020-71-4-46-53.
6. Сиваков В. В., Боровая К. С. Внедрение информационных технологий при организации пассажирских

маршрутных перевозок в г. Брянске // *Транспортное дело России*. – 2019. – № 4. – С. 98–99. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41151692>. Доступ 05.08.2022.

7. Дракунов И. И., Деревягин Р. Ю. Перспективы развития общественного транспорта в г. Брянске // *Экономика и эффективность организации производства*. – 2021. – № 34. – С. 19–23. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47212611>. Доступ 05.08.2022.

8. Кузнецова Л. П., Семенихин Б. А., Алтухов А. Ю. Совершенствование организации пассажирских перевозок на маршрутах г. Курска // *Мир транспорта и технологических машин*. – 2016. – № 2 (53). – С. 98–104. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25845700>. Доступ 05.08.2022.

9. Гулидова А. В., Крылатов А. Ю. Оптимизация маршрутных сетей общественного транспорта // *Процессы управления и устойчивость*. – 2019. – Т. 6. – № 1. – С. 414–418. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38095797>. Доступ 05.08.2022.

10. Ерёмин С. В. Интегрированное транспортное планирование в условиях перспективного территориального развития города // *Мир транспорта и технологических машин*. – 2021. – № 3 (74). – С. 109–114. DOI: 10.33979/2073-7432-2021-74-3-109-114.

11. Teodorović, D., Janic, M. Public Transportation Systems. In book: *Transportation Engineering*, 2022, pp. 405–522. DOI: 10.1016/B978-0-323-90813-9.00007-2.

12. Kiaer, J. Public transportation. In book: *Study Abroad in Korea*, 1st ed. Routledge, 2020, 7 p. eBook ISBN 9780367824020. DOI: 10.4324/9780367824020-8.

13. Užalytė-Vitkūnienė R., Ranceva, J. Accessibility of Regional Public Transport. *Transbaltica XII: Transportation Science and Technology*, 2022, pp. 726–737. DOI: 10.1007/978-3-030-94774-3\_70.

14. Özgün, K., Günay, M., Basaran, B. [et al]. Analysis of Public Transportation for Efficiency. In book: *Trends in Data Engineering Methods for Intelligent Systems*, Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence and Applied Mathematics in Engineering (ICAAME 2020), 2021, pp. 680–695. DOI: 10.1007/978-3-030-79357-9\_63.

15. Shankaran, R. S., Rajendran, L. Intelligent Transport Systems and Traffic Management. In book: *Smart Cities: Concepts, Practices, and Applications*, 1st ed., 2022, 48 p. eBook ISBN 9781003287186. DOI: 10.1201/9781003287186-6.

16. Ibraeva, A., de Sousa, J. F. Marketing of public transport and public transport information provision. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 2014, Vol. 162, pp. 121–128. DOI: 10.1016/j.sbspro. 2014.12.192.

17. Енин Д. В. Подходы к определению уровня дублирования маршрутов регулярных перевозок // *Мир транспорта*. – 2021. – Т. 19. – № 1 (92). – С. 210–228. DOI: 10.30932/1992-3252-2021-19-1-210-228.

18. Сиваков В. В., Тихомиров П. В., Камынин В. В. Исследование маршрутной совмещённости пассажирской сети города Брянска // *Мир транспорта и технологических машин*. – 2021. – № 3 (74). – С. 43–49. DOI: 10.33979/2073-7432-2021-74-3-43-49. ●

## Информация об авторах:

**Сиваков Владимир Викторович** – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин и сервиса Брянского государственного инженерно-технологического университета, Брянск, Россия, [sv@bgitu.ru](mailto:sv@bgitu.ru).

**Камынин Виктор Викторович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой общетехнических дисциплин и физики Брянского государственного инженерно-технологического университета, Брянск, Россия, [kaf-mim@bgitu.ru](mailto:kaf-mim@bgitu.ru).

**Тихомиров Петр Викторович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой транспортно-технологических машин и сервиса, проректор по научно-исследовательской деятельности Брянского государственного инженерно-технологического университета, Брянск, Россия, [vtichomirov@mail.ru](mailto:vtichomirov@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 08.08.2022, одобрена после рецензирования 19.09.2022, принята к публикации 21.09.2022.



#### ОПТИМИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВА

112

*Энергетическая оценка влияния степени гидратации и типа смеси на использование смесей этанола и бензина в двигателях с искровым зажиганием.*



## БЕЗОПАСНОСТЬ, УСТОЙЧИВОСТЬ, ЭКОЛОГИЯ



#### АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ТРАНСПОРТ: ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ

117

*Ключевые группы проблем правового обеспечения использования автомобилей с автоматизированной системой вождения. Сущностные и технические требования к безопасности. Баланс ответственности за причинённый вред.*



## НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656.2:665.73:621.43:504

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-10>

Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 4 (101). С. 112–116

# Энергетическое влияние степени гидратации этанола и коэффициента избыточного воздуха ( $\alpha$ ) на использование смесей этанол-бензина в двигателях с искровым зажиганием



Яриан РЕЙЕС СУАРЕС



Валентин БАЛАБИН

Яриан Рейес Суарес<sup>1</sup>,  
Валентин Николаевич Балабин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Гаванский аграрный университет, Майябеке, Куба.

<sup>2</sup> Российский университет транспорта, Москва, Россия.

✉ <sup>1</sup> [yarianrs@gmail.com](mailto:yarianrs@gmail.com).

✉ <sup>2</sup> [vbbn2347@gmail.com](mailto:vbbn2347@gmail.com).

## АННОТАЦИЯ

Цель этого исследования – энергетически оценить влияние степени гидратации и типа смеси (богатой смеси  $\alpha = 0,85$  и бедной смеси  $\alpha = 0,15$ ) на использование смесей этанола и бензина в двигателях с искровым зажиганием. Эксперименты проводились в Лаборатории двигателей Факультета технических наук Гаванского аграрного университета (УНАХ). Используемый двигатель модели JASTO имеет эффективную мощность 1,2 кВт. Частота вращения – 580 об./мин, объём камеры сгорания – 34 см<sup>3</sup>. Перед сжиганием определяли степень гидратации этанола (80 %; 85 %; 90 %; 95 %). С учётом влияния процента чистоты этанола и коэффициента избыточного воздуха ( $\alpha$ ) при использовании горючих смесей были проведены анализы следующих параметров: соотношение воздух-топливо ( $s_{\text{в/т}}$ ) и соотношение топливо-воздух ( $s_{\text{т/в}}$ ); внутренняя энергия продуктов сгорания ( $U_p$ ); количество молей исходных веществ в смеси для бензиновых двига-

телей ( $M_p$ ) и количество молей продуктов при сгорании ( $M_p$ ).

На основе выполненных экспериментальных работ и энергетического анализа процесса сгорания показано, что в смеси бензина Е-10-ЕН-80 % содержалось большее соотношение воздуха и топлива, чем необходимо для достижения сгорания. Это соотношение достигает 11,781 кг (воздуха)/кг (топлива) для  $\alpha = 0,85$  и 15,309 кг (воздуха)/кг (топлива) для  $\alpha = 1,15$ . Это связано с тем, что компоненты с повышенным содержанием влаги обедняют смесь и гарантируют лучшее сгорание. При этом богатые смеси ( $\alpha = 0,85$ ) оказались наиболее энергоэффективны по причине увеличения октанового числа и соответственно улучшения антидетонационных способностей используемой топливной смеси. Однако, с другой стороны, возможно снижение энергетической эффективности при появлении детонационных процессов.

**Ключевые слова:** транспорт, углеводород, топливо, бензин, смесь, этанол, энергия, двигатель, воздух, газ, гидратация, сгорание, экология.

**Для цитирования:** Рейес Суарес Я., Балабин В. Н. Энергетическое влияние степени гидратации этанола и коэффициента избыточного воздуха ( $\alpha$ ) на использование смесей этанол-бензина в двигателях с искровым зажиганием // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 4 (101). С. 112–116. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-10>.

Полный текст статьи, изначально представленный на английском языке, публикуется во второй части данного выпуска.  
The full text of the article originally written in English is published in the second part of the issue.

## ВВЕДЕНИЕ

Об угрозе истощения ископаемых углеводородов уже более четырёх десятилетий предупреждают учёные и различные мировые организации. Они утверждают, что «нефтяной пик» является неизбежной реальностью, и прогнозируют его на разные даты. Но важно то, что никто не сомневается, что это произойдёт и приведёт к серьёзным последствиям для мировой экономики [1].

Постепенное истощение запасов ископаемого топлива, неопределённость цен на него, а также ухудшение состояния окружающей среды заставляет человечество серьёзно задуматься над энергетической проблемой и искать альтернативные источники. По этой причине в настоящее время наблюдается общая тенденция к поиску и использованию возобновляемых источников энергии [2].

Однако такие источники энергии – не единственные среди прочих доступных источников. В настоящее время многие промышленные предприятия генерируют большое количество отходов, которые содержат ощутимый потенциал для энергетического использования. С помощью физических или химических процессов эти отходы могут использоваться для получения энергии, что позволяет экономить не только первичные ресурсы, но и эффективно решать проблемы управления отходами [3].

Учитывая угрозу, которую представляют истощение углеводородов и изменение климата, на глобальном уровне были разработаны стандарты и методы, позволившие эффективно решать возникающие проблемы. Некоторые современные технологические разработки указывают на тенденцию к сокращению потребления ископаемых углеводородов, постепенному переходу к использованию альтернативных видов топлива, таких как, например, биотопливо [4].

Переход на смешанное топливо позволяет улучшить тяговые свойства транспорта, повысить производительность, снизить расход топлива и уменьшить количество вредных выбросов [5–9]. При этом богатые смеси ( $\alpha = 0,85$ ) оказались наиболее энергоэффективны по причине увеличения октанового числа и соответственно улучшения антидетонационных способностей используемой топливной смеси. Однако, с другой стороны, возможно снижение энергетической эффективности

при появлении детонационных процессов [10].

С учётом вышеизложенного в работе приведены результаты термодинамических исследований использования смесей бензина и 10 % этанола в двигателях с искровым зажиганием.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

### 1. Теоретические основы процесса сгорания

Для анализа теоретических основ процесса сгорания было рассмотрено несколько работ на эту тему [11, с. 8–69; 12, с. 8–20; 13, с. 13–42; 14, с. 43–58; 15], в которых установлено:

1. Теоретическое количество воздуха, необходимое для окисления топлива ( $L_0$ ), определяется из выражения:

$$L_0 = \frac{1}{0,21} \left( \frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{O_0}{32} \right). \quad (1)$$

При этом средняя доля содержания химических элементов в составе может составлять для бензинов: углерод –  $C = 0,85$ ; водород –  $H = 0,15$ ; кислород –  $O_0 = 0$ .

2. Молярная масса смеси для бензиновых двигателей ( $M_1$ ):

$$M_1 = \alpha \cdot L_0 + \frac{1}{\mu_c}, \quad (2)$$

где  $\mu_c$  – молекулярная масса топлива, для бензинов  $\mu_c = 110 \dots 120$  кг/кмоль;

$\alpha$  – коэффициент избытка воздуха.

3. Количество молей продуктов при сгорании ( $M_2$ ):

$$\text{Если } \alpha < 1 \quad M_2 = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + 0,79 \cdot \alpha \cdot L_0. \quad (3)$$

$$\text{Если } \alpha \geq 1 \quad M_2 = (M_2)_\alpha \quad \alpha = 1 = 1 + j, \quad (4)$$

$$\text{где } (M_2)_{\alpha=1} = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + 0,79 \cdot L_0. \quad (5)$$

4. Необходимое количество воздуха ( $J$ ) определяется из выражения:

$$J = (\alpha - 1) \cdot L_0. \quad (6)$$

5. Теоретический коэффициент молекулярной вариации определяется из:

$$\mu_0 = M_2 / M_1. \quad (7)$$

6. Фактический коэффициент молекулярной вариации ( $\beta$ ) определяется из:

$$\beta = \frac{M_2 + M_r}{M_1 + M_r} = \frac{M_2 + M_1 \cdot \sigma_r}{M_1 + (1 + \sigma_r)} = \frac{\mu_0 + \sigma_r}{1 + \sigma_r}. \quad (8)$$

Значение  $\beta$  колеблется для бензиновых двигателей в пределах –  $\beta = 1,02 \dots 1,12$ , для дизельных двигателей –  $\beta = 1,01 \dots 1,06$ .

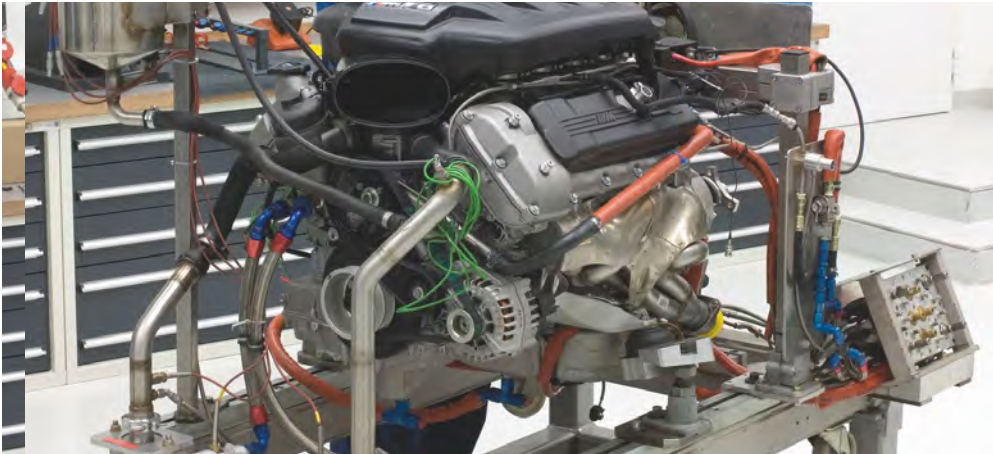
Нижняя теплота сгорания ( $H_u$ ) топлива составляет для бензиновых двигателей –  $H_u = 44000$  кДж/кг; для дизельных –  $H_u =$



Таблица 1

Соотношения «воздух–топливо» ( $c_{в/т}$ ) и «топливо–воздух» ( $c_{т/в}$ )  
[выполнено авторами]

| Смеси        | $\alpha = 0,85$                   |                                   | $\alpha = 1,15$                   |                                   |
|--------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
|              | $c_{в/т}$<br>кг воздух/кг топливо | $c_{т/в}$<br>кг топлива/кг воздух | $c_{в/т}$<br>кг воздух/кг топливо | $c_{т/в}$<br>кг топлива/кг воздух |
| E-10-ЕН-95 % | 11,303                            | 0,088                             | 15,293                            | 0,063                             |
| E-10-ЕН-90 % | 11,31                             | 0,088                             | 15,303                            | 0,065                             |
| E-10-ЕН-85 % | 11,311                            | 0,088                             | 15,304                            | 0,065                             |
| E-10-ЕН-80 % | 11,781                            | 0,085                             | 15,309                            | 0,065                             |



42500 кДж/кг; а для газохолa (Flex fuel) –  $H_u = 26279$  кДж/кг.

7. Внутренняя энергия продуктов сгорания ( $U_z$ ) определяется из выражения:

$$U_z = \frac{1}{\beta} \left[ \xi \frac{(H_u - \Delta H_u)}{M_1(1 + \sigma_r)} + \frac{[U_c - \sigma_r \cdot U_c^-]}{1 + \sigma_r} \right], \tag{9}$$

где  $\sigma_r$  – коэффициент отработанных газов. Для бензиновых двигателей  $\sigma_r = 0,06 \dots 0,12$ ; для дизельных двигателей  $\sigma_r = 0,02 \dots 0,06$ ;

$\xi$  – коэффициент использования тепла.

В номинальном режиме он составляет: для бензиновых двигателей  $\xi = 0,85 \dots 0,95$ ; для дизельных двигателей  $\xi = 0,65 \dots 0,85$ ;

$U_c$  – внутренняя энергия газов (может быть взята из воздуха) для температуры в конце сжатия в градусах Цельсия ( $^{\circ}\text{C}$ );

$U_c^-$  – внутренняя энергия продуктов сгорания для критической температуры продуктов ( $t_c$ ).

2. Гидратация этанола

Шаги, которые следует учитывать для получения различных степеней гидратации этанола:

- измерение с помощью алкотестера степени гидратации этанола для эксперимента;

- увеличение степени гидратации этанола до желаемых значений путём добавления дистиллированной воды ( $\text{H}_2\text{O}$ ) без примесей.

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Экспериментальные исследования

Эксперименты проводились в Лаборатории двигателей Факультета технических наук Гаванского аграрного университета (УНАХ). Использовался одноцилиндровый двигатель модели JASTO. Анализ процесса сгорания на основе смесей 10 % этанола и обычного бензина категории В-85 (Е-10). Перед сжиганием определяли степень гидратации этанола (80 %; 85 %; 90 %; 95 %) и тип смешивания (богатая смесь  $\alpha = 0,85$  и бедная смесь  $\alpha = 0,15$ ). Используемый двигатель имеет эффективную мощность 1,2 кВт. Частота вращения – 580 мин<sup>-1</sup>, объём камеры сгорания – 34 см<sup>3</sup>.

Изначальный процент чистоты этанола (ЕН), используемого в экспериментах, составлял 97 %. Из него получали этанол 95 %, 90 %, 85 % и 80 %. С этими процентами чистоты выполнялись запланированные исследования эксперименты по сжиганию смеси.

Таблица 2

Внутренняя энергия продуктов сгорания ( $U_z$ ).  
Количество молей исходных веществ в смеси для бензиновых двигателей ( $M_1$ )  
и количество молей продуктов сгорания ( $M_2$ ) при  $\alpha = 0,85$  и в  $\alpha = 1,15$   
[выполнено авторами]

| Смеси           | $\alpha = 0,85$  |                  |       |         |                   |
|-----------------|------------------|------------------|-------|---------|-------------------|
|                 | $M_1$ , кг/кмоль | $M_2$ , кг/кмоль | $m_0$ | $\beta$ | $U_z$ , кДж/кмоль |
| E-10-ЕН-95 %    | 28,632           | 26,113           | 0,912 | 0,616   | 27749,510         |
| E-10-ЕН-90 %    | 28,432           | 25,873           | 0,91  | 0,614   | 28202,971         |
| E-10-ЕН-85 %    | 28,230           | 25,661           | 0,909 | 0,612   | 28664,544         |
| E-10-ЕН-80 %    | 28,027           | 25,420           | 0,907 | 0,609   | 29134,443         |
| $\alpha = 1,15$ |                  |                  |       |         |                   |
| E-10-ЕН-95 %    | 21,474           | 19,606           | 0,913 | 0,633   | 26852,127         |
| E-10-ЕН-90 %    | 21,242           | 19,288           | 0,908 | 0,631   | 27294,547         |
| E-10-ЕН-85 %    | 21,009           | 19,013           | 0,905 | 0,629   | 27744,519         |
| E-10-ЕН-80 %    | 20,773           | 18,779           | 0,904 | 0,627   | 28202,227         |

2. Термодинамический анализ  
результатов экспериментальных  
исследований процесса сгорания

Принимая во внимание материалы и методы, изложенные выше, влияние процента чистоты этанола и коэффициент избыточного воздуха, при использовании горючих смесей проводился анализ следующих параметров: соотношение «воздух–топливо» ( $c_{в/т}$ ) и соотношение «топливо–воздух» ( $c_{т/в}$ ); внутренняя энергия продуктов сгорания ( $U_z$ ); количество молей веществ в исходной смеси для бензиновых двигателей ( $M_1$ ) и количество молей продуктов сгорания ( $M_2$ ).

В случае соотношения «воздух–топливо» ( $c_{в/т}$ ) и «топливо–воздух» ( $c_{т/в}$ ) соответствующие коэффициенты представляют собой отношение массы топлива или воздуха, которые присутствуют в смеси, к массе воздуха или топлива во время сгорания. Большое количество воздуха с небольшим количеством топлива становятся причиной быстрого сгорания при высокой температуре, в то время как, наоборот, при большом количестве топлива смесь сгорает медленно и при более низких температурах. Соотношение «воздух–топливо» менее 14,7 означает богатую смесь, а соотношение более 14,7 – обеднённую смесь. Коэффициент избытка воздуха определён равным  $\alpha = 0,85$  и  $\alpha = 1,15$ , соответственно, для смеси 10 % этанола с процентом чистоты 95 % и бензина (E-10-ЕН-95 %), 10 % этанола с процентом чистоты 90 % и бензина (E-10-ЕН-90 %), 10 % этанола с процентом-

чистоты 85 % и бензина (E-10-ЕН-85 %), 10 % этанола с процентом чистоты 80 % и бензина (E-10-ЕН-80 %) (табл. 1).

В соответствии с данными табл. 1, в указанной выше смеси E-10-ЕН-80 % соотношение воздуха и топлива больше необходимого для воспламенения смеси, оно достигает 11,781 кг (воздуха)/кг (топлива) для  $\alpha = 0,85$  и 15,309 кг (воздуха)/кг (топлива) для  $\alpha = 1,15$ . Это происходит потому, что смесь содержит больше влаги и из-за того, что в её составе присутствует больше атомов кислорода. Это то, что обедняет смесь и обеспечивает лучшее качество сгорания. В то время при  $\alpha = 0,85$  соотношение топливо/воздух больше, чем для  $\alpha = 0,15$ , так как масса воздуха уменьшается.

В свою очередь, по формуле (9) определяли внутреннюю энергию продуктов сгорания для каждой из проанализированных смесей, представленных в табл. 2.

Анализ показал, что при использовании смеси E-10-ЕН-80 % как в обогащённых, так и в обеднённых смесях, получается больше внутренней энергии, чем при других условиях. Значение достигает 29134,443 кДж/кмоль для богатых смесей и 28202,227 кДж/кмоль для бедных смесей, что приводит к максимальной разнице с другими богатыми смесями (в 1384,934 кДж/кмоль относительно смеси E-10-ЕН-95 %) и бедными смесями (в 1350,1 кДж/кмоль относительно смеси E-10-ЕН-95 %). Увеличение энергии может быть обусловлено увеличением содержания



водорода и кислорода в смеси за счёт добавления к этанолу воды.

Более высокую внутреннюю энергию дают богатые смеси.

Подводя итог, можно сказать, что наибольшее значение внутренней энергии продукты сгорания достигают при использовании смеси Е-10-ЕН-80 % для богатых смесей ( $\alpha = 0,85$ ). Это обусловлено повышением октанового числа используемой топливной смеси, что в целом улучшает качество сгорания. Следует отметить, что это не означает, что по мере увеличения гидратации этанола увеличивается внутренняя энергия.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Для смеси Е-10-ЕН-80 % характерно большее соотношение воздуха и топлива для достижения сгорания, которое достигает 11,781 кг (воздуха)/кг (топлива) для  $\alpha = 0,85$  и 15,309 кг (воздуха)/кг (топлива) для  $\alpha = 1,15$ . Смесь с повышенным увлажнением гарантирует лучшее качество сгорания.

2. В богатых смесях ( $\alpha = 0,85$ ) соотношение топливо/воздух больше, чем в бедных смесях ( $\alpha = 0,15$ ), потому что количество подаваемого воздуха уменьшается.

3. Смесь Е-10-ЕН-80 % для богатых смесей ( $\alpha = 0,85$ ) оказалась наиболее энергоэффективной, что связано с увеличением октанового числа и повышением антидетонационной способности при общем улучшении качества сгорания.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Domínguez, F. S. La agroindustria bioenergética de la caña de azúcar: retos y perspectivas. In: La agroindustria cañera cubana: transformaciones recientes. Editor Mario González-Corzo, 2015, pp. 35–59. [Электронный ресурс]: <https://cubaproject.org/wp-content/uploads/2014/07/SugarEbook.pdf>. Доступ 31.08.2022.
- Reyes Suárez, Y., Arteaga Barrueta, M., Morejón Mesa, Y., Fuentes Sánchez, A. Valuation of the energy potential of the agroindustrial residuals of tomato for their employment as biofuel. Revista Ingeniería Agrícola, 2020, Vol. 10, No. 2. [Электронный ресурс]: <https://www.redalyc.org/journal/5862/586263256006/>. Доступ 31.08.2022.
- Baño, A., Darío, A., Quito, P., Gonzalo, H. Obtención de la mezcla combustible diésel con aceites lubricantes reciclados del automóvil en concentraciones de 5 %, 10 %, 15 %, 20 % y 30 % y determinación de los parámetros característicos del motor. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga. Carrera de IngenieríaAutomotriz,

2016. [Электронный ресурс]: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/11809>. Доступ 31.08.2022.

4. Aguilar-Rivera, N. Bioetanol de la caña de azúcar. Avances en Investigación Agropecuaria, 2007, Vol. 11, No. 3, pp. 25–39. [Электронный ресурс]: <https://www.redalyc.org/pdf/837/83711303.pdf>. Доступ 31.08.2022.

5. Носырев Д. Я., Курманова Л. С., Петухов С. А., Муратов А. В., Ерзамаев М. П. Экологическая эффективность применения альтернативных видов топлива в энергетических установках железнодорожного транспорта // Экология и промышленность России. – 2019. – Т. 23. – № 2. – С. 19–23. DOI: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-2-19-23> [платный доступ].

6. Коссов Е. Е., Сухопаров С. И. Оптимизация режимов работы тепловых дизель-генераторов // Труды ВНИИЖТ. – М.: Интекст, 1999. – 183 с. ISBN 5-89277-010-9.

7. Марков В. А., Козлов С. И. Топливоподача много-топливных и газодизельных двигателей. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 296 с. ISBN 5-7038-1565-7.

8. Фофанов Г. А. Природный газ – моторное топливо для тепловозов // Журнал «Железные дороги мира (ЖДМ)». – 2006. – № 7. – С. 43–48. [Электронный ресурс]: [https://zdmira.com/images/pdf/\\_dm2006-07\\_43-48.pdf](https://zdmira.com/images/pdf/_dm2006-07_43-48.pdf). Доступ 31.08.2022.

9. Носырев Д. Я., Росляков А. Д., Муратов А. В. Перспективы и проблемы применения альтернативных видов топлива в локомотивных энергетических установках: Монография. – Самара: СамГУПС, 2009. – 117 с. ISBN 978-5-98941-110-8.

10. Reyes Suárez, Y., Morejón Mesa, Y., Hernández Herranz, A. Thermodynamic Evaluation of Using Ethanol-Gasoline Blends in Spark Ignition Engine. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 2020, Vol. 29, No. 2. [Электронный ресурс]: <https://www.redalyc.org/journal/932/93264060003/>. Доступ 31.08.2022.

11. Богданов С. Н., Буренков М. М., Иванов И. Е. Автомобильные двигатели: «Раздел I. Основы технической термодинамики и теплопередачи». – М.: Машиностроение, 1987. – 367 с. [Электронный ресурс]: <https://djvu.online/file/JxMwJZBbNBIEQ>. Доступ 31.08.2022.

12. Анохин В. И., Сахаров А. Г. Пособие тракториста: Раздел второй «Тракторные двигатели». – 2-е изд. перераб. – М.: Колос, 1969. – 424 с. [Электронный ресурс]: <https://fr-lib.ru/books/professii/posobie-traktorista-download182810>. Доступ 31.08.2022.

13. Гуревич А. М., Сорокин Е. М. Тракторы и автомобили: «Раздел второй. Основы теории тракторных и автомобильных двигателей внутреннего сгорания». – 4-е изд. перераб. и дополн. – М.: Колос, 1978. – 480 с. [Электронный ресурс]: <https://djvu.online/file/IFM9cZ1fzYDZ>. Доступ 31.08.2022.

14. Холдерман Дж. Д., Митчелл, мл. Ч. Д. Автомобильные двигатели: теория и техническое обслуживание: Глава 2. Принцип работы и типы двигателей / Пер. с англ. и ред. С. А. Добродеева. – 4-е изд. – М.: Вильямс, 2006. – 664 с. ISBN 5-8459-0954-6.

15. Круглов С. М. Устройство, техническое обслуживание и ремонт легковых автомобилей. – М.: Высшая школа, 1987. – 336 с. [Электронный ресурс]: <https://fr-lib.ru/books/raznoe/kruglov-s-m-ustroystvo-tehnicheskoe-obsluzhivanie-i-remont-legkovykh-avtomobilei-download602479>. Доступ 31.08.2022.

### Информация об авторах:

**Рейес Суарес Яриан** – аспирант РУТ, профессор Гаванского аграрного университета, Майябеке, Куба, [varians@gmail.com](mailto:varians@gmail.com).  
**Балабин Валентин Николаевич** – доктор технических наук, профессор Российского университета транспорта, Москва, Россия, [vbbn2347@gmail.com](mailto:vbbn2347@gmail.com).

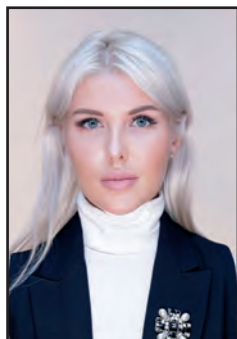
Статья поступила в редакцию 16.06.2022, одобрена после рецензирования 27.06.2022, принята к публикации 13.07.2022.



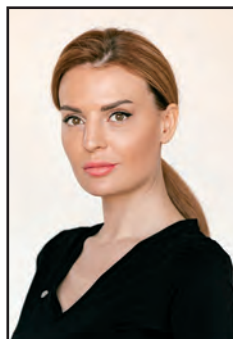
# Проблемные вопросы правового регулирования использования автомобилей с автоматизированной системой вождения



Александр ЗЕМЛИН



Мария МАТВЕЕВА



Евгения ГОЦ



Антон ТОРШИН

*Александр Игоревич Землин<sup>1</sup>, Мария Андреевна Матвеева<sup>2</sup>,  
Евгения Валентиновна Гоц<sup>3</sup>, Антон Алексеевич Торшин<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> Российский университет транспорта, Научно-экспертный совет Центра исследования проблем безопасности Российской академии наук, Москва, Россия.

<sup>2, 3, 4</sup> Российский университет транспорта, Москва, Россия.

✉ <sup>1</sup> [zemlin.aldr@yandex.ru](mailto:zemlin.aldr@yandex.ru).

## АННОТАЦИЯ

В условиях коренного изменения принципиальных подходов к построению системы организации дорожного движения, традиционно основанной на установлении обязанности водителя обеспечивать постоянный контроль за дорожной обстановкой и, соответственно, презюмировании его ответственности за вред, причиненный источником повышенной опасности, проблема правового регулирования применения высокотомашизированных транспортных средств, оснащенных автоматизированной системой вождения, не предусматривающей участия водителя в динамическом управлении автомобилем, становится не только актуальной в теоретическом, но и особо значимой в практическом аспектах.

Целями ведущегося авторами комплексного исследования стали выявление и визуализация ключевых групп проблем правового обеспечения использования автомобилей с автоматизированной системой вождения, формулирование предложений по их решению в рамках последующего системно-правового исследования. В данной публикации приведены результаты рассмотрения первого блока обозначенных вопросов.

С использованием методик системно-правового подхода, формально-логического и формально-догматического анализа авторами определены наиболее проблемные вопросы легализации терминологии, используемой в позитивном праве и научных источниках. В частности, предложены варианты выявления существенных признаков высокотомашизированных автомобилей в интересах последующего законодательного определения того, какие автомобили должны

быть отнесены к высокотомашизированным, какой программно-аппаратный комплекс может считаться автоматизированной системой вождения и т.п.

По результатам решения научной задачи, состоящей в определении направлений адаптации законодательства, регулирующего требования к безопасности транспортных средств и процедуру их допуска к эксплуатации к потребностям широкого внедрения высокотомашизированных автомобилей, авторами сделан вывод, что данная работа может вестись в двух направлениях одновременно: по разработке верхнеуровневых, существенных требований к безопасности и по выработке точечных, сугубо технических требований к автоматизированным системам вождения, а также по разработке методологии их испытаний.

В рамках осуществления таксономического анализа, осуществленного авторами в целях определения круга прав и обязанностей участников исследуемых отношений предлагается особо выделить проблему разграничения ситуаций, в которых водителю необходимо принимать активное участие в управлении автомобилем, от ситуаций, в которых от него не требуется активного вовлечения в этот процесс.

При рассмотрении вопросов ответственности за вред, причиненный автомобилем с автоматизированной системой вождения, делается акцент на необходимость решения проблемы баланса ответственности владельца автомобиля и изготовителя, чему может способствовать применение методов компаративно-правового анализа.

**Ключевые слова:** беспилотный автомобиль, высокотомашизированное транспортное средство, правовое обеспечение, система помощи водителю, автоматизированная система вождения, автоматизированное вождение, автономное вождение.

**Финансовая поддержка:** Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта № 22–28–20334 «Правовые средства обеспечения безопасности использования беспилотных автомобилей в мегаполисах», <https://rscf.ru/project/22–28–20334>.

**Для цитирования:** Землин А. И., Матвеева М. А., Гоц Е. В., Торшин А. А. Проблемные вопросы правового регулирования использования автомобилей с автоматизированной системой вождения // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 4 (101). С. 117–122. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-11>.

**Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.  
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.**

## ВВЕДЕНИЕ

Технологии беспилотного вождения находят всё более широкое распространение в мире и получают более прочную регуляторную основу. В зарубежных правовых порядках наблюдается активный переход от стадии экспериментального регулирования («регуляторных песочниц») к стадии ограниченного введения всеобщего регулирования.

Так, с 6 июля 2022 года в Европейском Союзе начал действовать Регламент (ЕС) Европейского Парламента и Совета 2019/2144 о требованиях к безопасности транспортных средств<sup>1</sup>, в котором среди прочего выдвигаются базовые требования к безопасности высокоавтоматизированных и полностью автоматизированных автомобилей (ст. 11). С 1 августа 2022 года также вступило в силу Положение об управлении интеллектуальными и подключёнными транспортными средствами в Шэньчжэньской особой экономической зоне (Китай), в соответствии с которым вводится постоянное регулирование для высокоавтоматизированных автомобилей с водителем за рулём, а также разрешается использование полностью автоматизированных автомобилей в специально отведённых зонах<sup>2</sup>. 11 марта 2022 года Национальная администрация безопасности дорожного движения США пересмотрела требование Федеральных стандартов безопасности транспортных средств об обязательном присутствии руля в конструкции автомобиля, таким образом, устранив ключевое регуляторное препятствие для внедрения полностью автономных автомобилей<sup>3</sup>.

Российская система правового регулирования автомобилей, оснащённых автоматизированными системами вождения, всё ещё

находится в экспериментальной стадии. Ключевым нормативным актом, регулирующим тестирование высокоавтоматизированных автомобилей, является постановление Правительства РФ от 09.03.2022 г. № 309 «Об установлении экспериментального правового режима в сфере цифровых инноваций и утверждении Программы экспериментального правового режима в сфере цифровых инноваций по эксплуатации высокоавтоматизированных транспортных средств». В соответствии с указанным постановлением на территории г. Москвы, г. Иннополис и федеральной территории «Сириус» был установлен экспериментальный правовой режим по эксплуатации высокоавтоматизированных транспортных средств, в рамках которого допускается ограниченная эксплуатация высокоавтоматизированных и полностью автоматизированных автомобилей.

Следует отметить, что переход от экспериментального ко всеобщему регулированию требует решения целого ряда новых проблем правового характера, решение которых невозможно без теоретического осмысления. К центральным темам российских правовых исследований, опубликованных на текущий момент, можно отнести проблематику обеспечения безопасности эксплуатации транспортных средств [1–3] и проблематику ответственности за вред, причинённый высокоавтоматизированным автомобилем [4–6].

Внимание к правовому регулированию применения высокоавтоматизированных транспортных средств существенно возросло в период распространения коронавирусной инфекции, поскольку применение беспилотных средств позволяло минимизировать так называемое «перекрёстное заражение», обеспечивало доставку медикаментов, продуктов питания и прочего в районы с высоким уровнем риска заражения [7–9].

Вместе с тем, в отечественной литературе отсутствует, за редким исключением, систематическое описание правовых проблем, которые возникают в связи с использованием автомобилей с автоматизированной системой вождения [10]. В целом речь идёт в определённом смысле и о разработке законодательной новеллы, что, однако, применительно к другим проблемам правового регулирования транспорта, было характерно и для других этапов развития транспортного образования и науки [11–13].

<sup>1</sup> Regulation (EU) 2019/2144 of The European Parliament and of the Council of 27 November 2019 on type-approval requirements for motor vehicles and their trailers, and systems, components and separate technical units intended for such vehicles, as regards their general safety and the protection of vehicle occupants and vulnerable road users. [Электронный ресурс]: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/LSU/?uri=CELEX%3A32019R2144>. Доступ 10.08.2022.

<sup>2</sup> Shenzhen unveils China's first regulation on intelligent connected vehicles. [Электронный ресурс]: <https://www.globaltimes.cn/page/202207/1269924.shtml>. Доступ 10.08.2022.

<sup>3</sup> The Deputy Administrator of the National Highway Traffic Safety Administration, Steven S. Cliff. [Электронный ресурс]: <https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/2022-03/Final-Rule-Occupant-Protection-Amendment-Automated-Vehicles.pdf>. Доступ 10.08.2022.

В связи с этим авторы ставят своей *целью* дать обзор ключевых проблем, стоящих перед законодателем, на пути к формированию полноценного правового регулирования использования автомобилей с автоматизированной системой вождения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Проблемные вопросы легализации понятий и терминов

К одной из самых базовых проблем в сфере правового регулирования автомобилей, оснащённых автоматизированной системой вождения, можно отнести проблемы терминологии. Проблема определения ключевых понятий в любой научной области исходная проблема для начала исследований [14, с. 189]. Так, в научной литературе отсутствует консенсус касательно предпочтительной терминологии, которая должна употребляться в отношении как всех автомобилей, оснащённых автоматизированной системой вождения, так и в отношении автомобилей, автоматизированная система вождения которых позволяет обеспечить управление автомобилем при отсутствии водителя в салоне.

В настоящее время ни в законодательстве, ни в научной литературе не выработано единое понимание относительно того, какие программно-аппаратные комплексы должны считаться автоматизированными системами вождения, а какие должны быть отнесены лишь к системам помощи водителю<sup>4</sup>. Указанное разграничение имеет большой практический смысл. Так, среди производителей высокоавтоматизированных автомобилей растёт беспокойство в связи с тем, что потребители и законодатели часто переоценивают возможности продвинутых систем помощи водителю и принимают их за полноценные автоматизированные системы управления<sup>5</sup>. Кроме того, решение указанного вопроса будет также иметь важные регуляторные последствия для установления дифференцированных требований к водителям, процессу оценки технического соответствия высокоавтоматизированных автомобилей, а также для

установления стандарта виновной ответственности водителей.

### Проблемы допуска к эксплуатации автомобилей с автоматизированной системой вождения

Значимый пласт проблем, находящихся на стыке технологий и права, возникает в связи с необходимостью пересмотра существующих подходов к проведению процедуры допуска к эксплуатации высокоавтоматизированных автомобилей и оценке их безопасности. Так, по сравнению с использованием автомобилей, не оснащённых автоматизированной системой вождения, использование высокоавтоматизированных автомобилей несёт в себе большее количество потенциальных рисков, связанных с работой автоматизированной системы вождения, которая в текущих условиях начинает выполнять самый широкий спектр задач по динамическому управлению автомобилем. В связи с этим существенно возрастает многообразие тестовых сценариев, которые требуют проверки в рамках проведения процедуры оценки соответствия транспортных средств и, в частности, проведения испытаний тестовых образцов<sup>6</sup>. При этом традиционные вопросы допуска к управлению автомобилем, медицинского освидетельствования [15, с. 103–105; 16, с. 284], оценки профессионально важных качеств [17] и психологической готовности водителей к профессии остаются в актуальной повестке [18].

Представляется, что обозначенная проблема требует комплексного пересмотра ныне действующих процедур проведения оценки соответствия автомобилей обязательным требованиям технических регламентов, а равно и самих требований, содержащихся в технических регламентах. Регуляторная работа в данном направлении может строиться, как минимум, по двум векторам.

С одной стороны, могут вырабатываться и систематизироваться сущностные требования к безопасности автомобилей с автоматизированной системой вождения. К указанным требованиям, в частности, можно отнести требования о способности автома-

<sup>4</sup> Clarification of the boundaries between ADAS and ADS. [Электронный ресурс]: <https://unece.org/sites/default/files/2022-01/GRVA-12-17e.pdf>. Доступ 11.08.2022.

<sup>5</sup> AAI seeks to reduce 'persistent confusion' over levels of vehicle autonomy. [Электронный ресурс]: <https://www.repairerdrivenews.com/2022/03/23/aai-seeks-to-reduce-persistent-confusion-over-levels-of-vehicle-autonomy/>. Доступ 11.08.2022.

<sup>6</sup> New Assessment/Test Method for Automated Driving (NATM) Guidelines for Validating Automated Driving System (ADS) – amendments to ECE/TRANS/WP.29/2022/58, pp. 1–2. [Электронный ресурс]: <https://unece.org/sites/default/files/2022-05/WP.29-187-08e.pdf>. Доступ 19.08.2022.





тизированной системы вождения сигнализировать о выходе из среды своей штатной эксплуатации или иных обстоятельствах, свидетельствующих о необходимости для водителя принять управление автомобилем на себя, о наличии систем мониторинга и фиксации дорожных событий и активности водителя и иных событий, к системе визуализации восприятия дорожной обстановки аппаратным комплексом автоматизированной системы вождения в режиме реального времени.

С другой стороны, параллельно с этим должна вестись работа по выработке точечных, сугубо технических требований к автоматизированным системам вождения, а также по разработке методологии их испытаний. Указанная работа среди прочего может включать систематизацию тестовых сценариев использования автомобилей с автоматизированной системой вождения, установление требований к процедурам симуляционного тестирования, тестирования на треке и на дорогах общего пользования.

### **Проблемы определения круга прав и обязанностей участников дорожного движения**

Всё большая автоматизация функций вождения порождает вопрос о необходимости пересмотра круга прав и обязанностей участников дорожного движения, в которое вовлечены автомобили с автоматизированной системой вождения. Наиболее проблемным является вопрос о том, в какой степени водитель автомобиля должен сохранять контроль за дорожной обстановкой на всём пути сле-

дования автомобиля, оснащённого автоматизированной системой вождения, в зависимости от степени автономности такого автомобиля.

Так, можно заметить, что конечная цель создания технологий беспилотного вождения состоит в том, чтобы делегировать функции по активному управлению автомобилем от человека программно-аппаратному комплексу, то есть, иными словами, в том, чтобы автоматизировать функцию водителя. При этом на текущем этапе своего развития высокоавтоматизированные автомобили могут не обеспечивать необходимого уровня гарантий безопасности, при котором водителю может быть позволено на регуляторном уровне отвлекаться от контроля за дорожной обстановкой в тех случаях, когда транспортное средство находится под управлением автоматизированной системы вождения в пределах среды её штатной эксплуатации.

Тем не менее повышение уровня безопасности высокоавтоматизированных автомобилей и совершенствование автоматизированных систем вождения приближают необходимость регуляторного разграничения ситуаций, в которых водителю необходимо принимать активное участие в управлении автомобилем, от ситуаций, в которых от него не требуется активного вовлечения в этот процесс<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> Law Commission, Scottish Law Commission. Automated vehicles: joint report. Law Commission Report No. 404. Scottish Law Commission Report No. 258, 26 January 2022, p. 36. [Электронный ресурс]: <https://www.scotlawcom.gov.uk/law-reform/law-reform-projects/joint-projects/automated-vehicles/>. Доступ 11.08.2022.

## Проблемы ответственности за вред, причинённый автомобилями с автоматизированной системой вождения

Как отмечается отечественными и зарубежными исследователями, одним из наиболее значимых вызовов для законодателей и правоприменителей в вопросах деликтной ответственности за причинение вреда высокоавтоматизированными автомобилями является существенное смещение контроля за рисками причинения вреда в сторону изготовителя такого автомобиля<sup>8</sup>. Так, с развитием технологий беспилотного вождения возрастает роль причинности, связанной со сбоями в программно-аппаратном комплексе автоматизированной системы вождения, и при этом снижается роль человеческого фактора, связанного с водителем автомобиля. В связи с этим более остро проявляются проблемы поиска справедливого и эффективного баланса ответственности владельца автомобиля и изготовителя, которые потребуют решения со стороны законодателя и правоприменителей с появлением случаев причинения вреда высокоавтоматизированными автомобилями.

Авторы полагают, что решение проблемы установления меры ответственности владельца автомобиля и изготовителя за причинение вреда высокоавтоматизированными транспортными средствами, равно как и оснований привлечения участников возникающих при этом правоотношений к указанной ответственности, находится в плоскости поиска возможных вариантов сочетания мер публично-правовой (в первую очередь, – административной) и частноправовой (гражданско-правовой) ответственности. При этом особо значимым является вопрос чёткого и однозначного установления нормами законодательства правового статуса всех категорий субъектов, участвующих в процессах, связанных с использованием автомобилей с автоматизированной системой вождения.

## ВЫВОДЫ

В рамках данной статьи авторами были выделены ключевые группы проблем право-

вого обеспечения использования автомобилей с автоматизированной системой вождения, а также сформулированы направления их решения.

1. Применительно к проблемам терминологии в качестве наиболее острой можно выделить проблему определения того, какие именно автомобили должны быть отнесены к высокоавтоматизированным. В свою очередь, указанная проблема вытекает из проблемы определения того, какой программно-аппаратный комплекс может считаться автоматизированной системой вождения.

2. Авторы отмечают, что для широкого внедрения высокоавтоматизированных автомобилей также необходима работа по адаптации законодательства, регулирующего требования к безопасности транспортных средств и процедуру их допуска к эксплуатации. Данная работа может вестись в двух направлениях одновременно: по разработке принципиальных, сущностных требований к безопасности и по выработке точечных, сугубо технических требований к автоматизированным системам вождения, а также по разработке методологии их испытаний.

3. В рамках анализа проблематики перепределения круга прав и обязанностей участников указанных правоотношений авторы выделяют проблему разграничения ситуаций, в которых водителю необходимо принимать активное участие в управлении автомобилем, от ситуаций, в которых от него не требуется активного вовлечения в этот процесс.

4. В свою очередь, при рассмотрении вопросов ответственности за вред, причинённый автомобилем с автоматизированной системой вождения, делается акцент на необходимости решения проблемы баланса ответственности владельца автомобиля и изготовителя.

Выделенные и систематизированные проблемы правового регулирования использования автомобилей с автоматизированной системой вождения, сделанные авторами умозаключения не носят абсолютного, завершённого, окончательного характера, однако, они могут стать основой для научной дискуссии. Более детализированные, научно обоснованные и практически фундированные выводы, выражающие позицию авторов по поднятой в данной статье проблеме, будут представлены в последующих публикациях

<sup>8</sup> Expert Group on Liability and New Technologies. Liability for Artificial Intelligence and Other Emerging Digital Technologies. European Union, 2019. P. 35. [Электронный ресурс]: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/1c5e30be-1197-11ea-8c1f-01aa75ed71a1/language-en>. Доступ 11.08.2022.





по итогам ведущихся в настоящее время исследований.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бажина М. А. Основные тенденции развития правового регулирования осуществления перевозок в условиях цифровизации // Юрист. – 2021. – № 11. – С. 44–50. DOI: 10.18572/1812-3929-2021-11-44-50.
2. Коробеев А. И., Чучаев А. И. Беспилотные транспортные средства: новые вызовы общественной опасности // LEX RUSSICA. – 2019. – № 2 (147). – С. 9–28. DOI: 10.17803/1729-5920.2019.147.2.009-028.
3. Лукашевич С. В. Беспилотное транспортное средство: смена парадигмы как следствие цифровизации экономики // Транспортное право. – 2019. – № 3. – С. 3–5. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39246555>. Доступ 19.08.2022.
4. Фёдоров Д. В. Безвиновная ответственность за причинение вреда при эксплуатации высокоавтоматизированного и полностью автоматизированного транспортного средства как источника повышенной опасности // Вестник гражданского права. – 2020. – № 6. – С. 191–211. DOI: 10.24031/1992-2043-2020-20-6-191-211.
5. Чурилов А. Ю. Ответственность за вред, причинённый при эксплуатации автономного (беспилотного) автомобиля // Интеллектуальные права: вызовы XXI века // Материалы Международной конференции / Под ред. Э. П. Гаврилова, С. В. Бутенко. – Томск: Издательский дом Томского государственного университета, 2019. – С. 127–132. DOI: 10.17223/9785946218559/17.
6. Чучаев А. И., Маликов С. В. Ответственность за причинение ущерба высокоавтоматизированным транспортом: состояние и перспективы // Актуальные проблемы российского права. – 2019. – № 6 (103). – С. 117–124. DOI: 10.17803/1994-1471.2019.103.6.117-124.
7. Землин А. И., Землина О. М., Клёнов М. В. и др. Организационно-правовые основы функционирования транспортной системы в условиях сложной эпидемиологической обстановки: Учебник / Отв. ред. А. И. Землин, И. В. Холиков. – М.: Русайнс, 2020. – 310 с. ISBN 978-5-466-01586-7.
8. Землин А. И., Клёнов М. В., Холиков И. В. Организационно-правовые проблемы предупреждения завоза и распространения массовых инфекционных заболеваний на транспорте (на примере пандемии коронавирусной инфекции COVID-19): Монография. – М.: Русайнс, 2020. – 126 с. ISBN 978-5-4365-6573-6.
9. Chernogor, N., Zemlin, A., Kholikov, I., Mamedova, I. Impact of the spread of epidemics, pandemics and mass diseases on economic security of transport. E3S Web of Conferences, 2020, Vol. 203 (107), pp. 05019. DOI: 10.1051/e3sconf/202020305019.
10. Торшин А. А., Землин А. И. Характеристика беспилотных автомобилей в контексте обязательств вследствие причинения вреда // Транспортное право и безопасность. – 2021. – № 1 (37). – С. 113–123. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45694384>. Доступ 19.08.2022.
11. Землин А. И., Холиков И. В. Аксиологические подходы к формированию правовой культуры специалиста-транспортника в современных условиях // Сб. научных трудов ИЗИСП «Правовые ценности в свете новых парадигм развития современной цивилизации». – М.: Инфра-М, 2020. – С. 403–411. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44306755>. Доступ 19.08.2022.
12. Землин А. И., Петров Ю. И. Опыт правового регулирования и организации обучения и преподавания в Императорском московском инженерном училище: 1896–1913 // Вестник архивиста. – 2021. – № 1. – С. 248–258. DOI: 10.28995/2073-0101-2021-1-248-258.
13. Петров Ю. И., Землин А. И., Землина О. М. Зарождение системы управления путями сообщения и транспортного законодательства России в IX–XVIII веках // Мир транспорта. – 2019. – Т. 17. – № 3 (82). – С. 260–277. DOI: 10.30932/1992-3252-2019-17-3-260-277.
14. Наумов П. Ю., Дьячков А. А. Субъектность и интеллигентность: от понятия к изоморфизму // Russian Journal of Education and Psychology. – 2021. – Т. 12. – № 6. – С. 188–200. DOI: 10.12731/2658-4034-2021-12-6-188-200.
15. Большакова В. М., Холиков И. В., Наумов П. Ю. Медицинское обеспечение судебной системы Российской Федерации // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. – 2022. – Т. 14. – № 1. – С. 103–127. DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-1-103-127.
16. Наумов П. Ю., Большакова В. М., Землин А. И., Холиков И. В. Концептуальные аспекты производства медицинских экспертиз при обжаловании в судебном порядке заключений по итогам проведения военно-врачебной экспертизы // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. – 2021. – Т. 13. – № 6. – С. 283–306. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-6-283-306.
17. Васюков О. Г., Большакова В. М., Наумов П. Ю. Теоретические и практические аспекты формирования социальной ответственности государственных гражданских служащих // International Journal of Advanced Studies in Education and Sociology. – 2021. – № 2. – С. 4–12. DOI: 10.12731/978-0-615-67324-0-4-12.
18. Смирнов Д. В., Наумов П. Ю., Большакова В. М. Теоретические аспекты изучения профессиональной психологической пригодности // Психология. Историко-критические обзоры и современные исследования. – 2021. – Т. 10. – № 6–1. – С. 77–84. DOI: 10.34670/AR.2021.68.71.008.

### Информация об авторах:

**Землин Александр Игоревич** – доктор юридических наук, кандидат философских наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, заведующий кафедрой транспортного права Юридического института Российского университета транспорта, научный руководитель направления транспортной безопасности Научно-экспертного совета Центра исследования проблем безопасности Российской академии наук, Москва, Россия, [zemlin.aldr@yandex.ru](mailto:zemlin.aldr@yandex.ru). ORCID ID 0000-0001-8988-8517.

**Матвеева Мария Андреевна** – кандидат юридических наук, доцент кафедры транспортного права Юридического института Российского университета транспорта, Москва, Россия, [matveeva1987@mail.ru](mailto:matveeva1987@mail.ru). ORCID ID 0000-0002-3297-4833.

**Гоц Евгения Валентиновна** – старший преподаватель кафедры транспортного права Юридического института Российского университета транспорта, Москва, Россия, [evgeniya.goc@mail.ru](mailto:evgeniya.goc@mail.ru). ORCID ID 0000-0001-7623-6798.

**Торшин Антон Алексеевич** – аспирант кафедры гражданского права, международного частного права и гражданского процесса Юридического института Российского университета транспорта, Москва, Россия, [a.torshin@yandex.ru](mailto:a.torshin@yandex.ru). ORCID ID 0000-0001-6583-9139.

Статья поступила в редакцию 19.08.2022, одобрена после рецензирования 05.09.2022, принята к публикации 12.09.2022.



## КОЛЕСО ИСТОРИИ



### ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТА: РЕТРОСПЕКТИВА

124

*Исторический экскурс к истокам экологической оценки транспортных средств с точки зрения безопасности для пассажиров. Зарождение подходов и методик 130 лет тому назад.*





## К вопросу об оздоровлении воздуха в пассажирских вагонах (1891–1892 годы)



### Пресс-архив

Данный материал кратко воспроизводит основное содержание статьи А. М. Крицкого в журнале «Железнодорожное дело» в 1891 и 1892 годах. Сам факт растянувшейся на несколько номеров и весьма объемной публикации показывает, какое внимание было уделено в своё время вопросу чистоты воздуха в железнодорожных пассажирских вагонах. В тексте максимально сохранены оригинальная пунктуация, лексика и сокращения, принятые в то время.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, пассажирские вагоны, история транспорта, экология.

*«Суждения приобретают характер необходимости, когда выдержат двойной критический процесс изложения оснований и согласия опытом».*

**Г. Льюис**

**М**ы рассмотрели вкратце на страницах этого журнала<sup>1</sup> изменения, каким может подвергаться воздух в пассажирских вагонах, и вследствие которых он делается более или менее вредным для пребывания в нём пассажиров.

Дальнейшая задача, которую представляет собой необходимым решить, заключается прежде всего в том, чтобы, насколько возможно, строго определить, какие примеси в вагонном воздухе

и в каких процентных отношениях должны быть признаны вредными для дыхания пассажиров как сами по себе, так и потому влиянию, которое они оказывают на изменение нормальных отношений элементов воздуха. Раз эта задача выяснена, оставалось бы произвести качественный и количественный анализ данного вагонного воздуха, чтобы составить заключение о его качестве. Ряд таких анализов и последующих обобщений мог бы привести к упрощению и облегчению решения вопроса об определении качества воздуха в пассажирских вагонах.

<sup>1</sup> См. «Железнодорожное Дело» за 1891 г., №№ 39–40 и 42–43. – *Ред.*

Для цитирования: Крицкий А. М. К вопросу об оздоровлении воздуха в пассажирских вагонах (1891–1892 годы) // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 4 (101). С. 124–132. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-12>.

Благодарности: редакция выражает признательность сотрудникам библиотеки Российского университета транспорта за помощь в подготовке материала.

Текст архивной статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.  
The full text of the archived article in English is published in the second part of the issue.

Следующая за сим задача будет заключаться в изыскании средств и способов привести назначенный для дыхания и испорченный воздух в такое состояние, в котором он мог бы быть признан безвредным!..

Это те ближайшие задачи, которые должны быть преследуемы при решении вопроса об оздоровлении воздуха в пассажирских вагонах; очевидно, они существенно разнятся от тех сравнительно широких задач, которые могут и должны быть предъявлены при решении таких вопросов, как вопрос об оздоровлении воздуха в школах, детских больницах и т.п. В последнем случае задачи сводятся не только к сохранению и поддержанию конституциональных свойств организма, но и соответственно нормальному ходу его развития, насколько оно зависит от качества воздуха в помещениях.

За решением вопроса относительно чистоты воздуха в данном помещении мы привыкли обращаться к нашему чувству обоняния, т.е. привыкли судить о степени чистоты воздуха по запаху его; очевидно, такой способ вполне субъективен, но к нему волей-неволей придётся не раз обращаться. Проф. Петтенкофер, посвятивший немало времени изучению вопроса об оздоровлении воздуха в жилых помещениях, признавая оценку воздуха по запаху вполне правильной, полагал, что самое рациональное и притом вполне объективное решение вопроса о качестве воздуха могло бы быть получено, если бы мы имели в своём распоряжении способ концентрирования и непосредственного измерения пахучих веществ, заключающихся в воздухе. Позднейшие же наблюдения и данные практики показали, что запах не может служить верным средством для оценки воздуха в закрытых помещениях, вследствие чего к нему следует обращаться с крайней осмотрительностью. Дурной запах, согласно указаниям профессора Негели, сопровождающий разложение, даёт знать лишь о том, что зародышевые формы ещё развиваются под влиянием влажного воздуха; самый же опасный момент наступает тогда, когда влажность уменьшается и зародышевые формы, высыхая, распространяются в воздухе в виде пыли. Запах прекращается, но воздух становится крайне испорченным...

Ознакомившись несколько с работами по определению качества воздуха в пассажирских вагонах в зависимости от содержания в нём углекислоты, обратимся теперь к оценке таких определений вообще.

Источников углекислоты в вагонах, кроме текущих выделений организма, существует несколько, например, процессы разложения

органических соединений воздуха и развития микроорганизмов (некоторые учёные полагают, что углекислота может служить мерилем этих процессов<sup>2</sup>), курение табака, искусственное освещение и отопление вагонов; к этому следует присоединить также остаточную углекислоту, содержащуюся в воздухе и облегающую пылевые частицы и волокна тканей. Известно, что пылевые частицы диффундируют не одинаково с воздухом вообще и с углекислотой, в частности, стены и даже щели фильтруют их, они оседают и могут мало-помалу отлагаться слоями. Это обстоятельство особенно резко обнаружилось при анализах воздуха д-ром Толвинским в палатках, где, несмотря на большие поры в парусине (пробиваемой даже дождём), воздух был так же нехорош, как и в каменных помещениях. На эти источники углекислоты я обращаю внимание потому, что существование их в вагоне есть то именно обстоятельство, которое так подчёркивает Петтенкофер, рекомендуя свой масштаб, и с которым приходится так или иначе считаться.

Всё вышеприведённое и вообще неустойчивость метода Петтенкофера приводит нас к убеждению, что суждение о качестве воздуха, основанное на измерении углекислоты в нём, крайне ненадёжно и может вводить в серьёзные ошибки.

Что касается непосредственного влияния углекислоты на организм, то большинство учёных согласны в том, что содержание углекислоты, обыкновенно обнаруживаемое в воздухе помещений, не представляет собою вреда и, следовательно, углекислота не может быть рассматриваема, как ядовитая примесь к вагонному воздуху. Скопление углекислоты до 6–7 % переносится часто без всяких жалоб на такой воздух (Леблан, Смит и другие). Д-р Альбицкий своими опытами доказал, что вред и глубокие расстройства в организме начинаются при сравнительно высоком процентном содержании углекислоты в воздухе, а именно между 10 % и 20 %, а 30 % углекислоты производит положительные удушья.

Теперь естественно рождается вопрос, какие же из рассмотренных нами примесей вагонного воздуха наиболее вредоносны и нет ли какого-либо другого способа для определения качества вагонного воздуха.

<sup>2</sup> В виду благоприятных условий, имеющих место в вагонах для процессов гниения и развития микроорганизмов, а именно большой влажности и высокой температуры (около 20°C), следует и на этот источник обратить серьёзное внимание; здесь кстати заметить, что с разложением органических веществ выделение углекислоты далеко не всегда идёт параллельно (Доброславин), и что предположение, приведённое в скобках, требует подтверждения опытами.



Мы уже говорили, что в воздухе находится постоянно некоторое количество свободного аммиака, колеблющееся в весьма значительных пределах; в воздухе вагона это содержание аммиака увеличивается довольно значительно, частью вследствие прибавления к нему белковидного аммиака, выделяющегося при процессах разложения органических пылевых частиц, носящихся в воздухе вагона, равно как осевших на стенах, мебели и т.п., или же ещё не отделённых от поверхности кожи и слизистых оболочек организма, частью же вследствие прибавления аммиака, составляющего продукт разложения мочи в ретирадах.

Вопрос о том, какое содержание аммиака в воздухе вагона может быть допущено, как не представляющее вреда для пассажиров, требует ещё разрешения. Известно, что количество аммиака в плохо содержащихся жилых помещениях достигает до 1 % (Эдварс); конечно, такое содержание этого газа в воздухе вагона несмотря на большую приспособляемость организма, не может пройти бесследно.

Определение избытка аммиака, сверх атмосферного, в воздухе вагонов и жилых помещений вообще, по мнению некоторых учёных, может служить мерилем качества воздуха и степени его вредности; с этой точки зрения, подробное изучение аммиака, как примеси в вагонном воздухе, представляет несомненный интерес, тем более что существуют веские доказательства в пользу преимущества аммиака, как мерила чистоты воздуха, сравнительно с углекислотой.

В настоящее время главным фактором порчи воздуха признаётся почти всеми органическая пыль, служащая почвой для развития микроорганизмов и носящая в своём составе зародышевые формы последних. Постоянное существование в воздухе таких зародышей и микроорганизмов, способных вызывать процессы брожения и гниения, было подтверждено прекрасными опытами проф. Пастера. Этой то пыли приписывают главным образом пахучесть вагонного воздуха и отравляющее действие последнего на организм.

Из всего вышесказанного мы видим, до какой степени важно уметь подвергнуть исследованию вагонную пыль. Это исследование наилучшим образом позволило бы нам судить о качестве воздуха в вагоне.

Кроме органической пыли, мы должны остановить наше внимание и на пыли вагона вообще. Мы знаем, что пылевые частицы способствуют загрязнению поверхности слизистых оболочек гортани, крупных и мелких дыхательных путей и т.д., приставая к ним и тем вредно действуя на их функционирование, производя

часто воспалительное состояние оболочек и даже язвы, — не говорю уже о том раздражающем действии, которое пыль оказывает на общую нервную систему. Всякому, кому приходилось ездить в вагонах или находиться некоторое время в пыльных помещениях архивов, библиотек, музеев и т.п., хорошо известен факт пересыхания зева, сопровождаемого жаждой, факт высыхания носовой полости, появление насморка и т.д.

Что касается способов определения качества вагонного воздуха, основанных на присутствии в нём органических пылевых частиц, похожих на белковые вещества, то естественно, мы должны остановиться на способах, более удобоприменимых и более надёжных при существующей обстановке в вагонах.

Давно замечена причинная связь между существованием озона в воздухе и степенью чистоты последнего; т.е. степенью содержания в нём посторонних органических остатков, способных окисляться. По опытам Эбермейера даже в заведомо чисто содержимом жилом помещении не удавалось обнаружить присутствия озона; только при широко раскрытых для свободного вхождения ветра дверях и окнах появлялась слабая озоноскопическая реакция, которая исчезала, коль скоро доступ для свободного вхождения ветра был прекращаем...

...Эти и многие другие опыты убеждают нас в справедливости раньше указанной причинной связи между исчезновением озона и очищением воздуха от органических остатков; а этим последним, как уже было сказано выше, главным образом и приписывается вредность воздуха помещений.

Всё вышеприведённое даёт нам право для определения качества вагонного воздуха воспользоваться озонметрическими исследованиями его, в крайнем случае, с много меньшей точностью, озонметрическим исследованием проб воздуха, взятого в различных пунктах вагона. Исследования эти могут быть производимы, вводя в воздух вагона с постепенностью определённое количество озона, развиваемого каким бы то ни было путём, электрическим, химическим или даже механическим, и наблюдая за изменением цвета озонметрических (йодокрахмальных) бумажек, расположенных по вагону<sup>3</sup>.

Определение окиси углерода в вагонах в зависимости от отопления, а также от курения табака, представляет несомненный интерес ввиду того отравляющего действия на организм, которое оказывает даже сравнительно

<sup>3</sup> Способ приготовления озонметрической бумаги подробно изложен в курсе гигиены Доброславина. Изд. 2. — Ч. I.

но малое присутствие этого газа в вагонах. Опыты Греана, Грязнова и других показали, что при курении табака развивается значительное количество окиси углерода, и потому этот вопрос заслуживает серьёзного исследования. Естественно, нас должны интересовать в вопросе об оздоровлении воздуха в вагонах главным образом те примеси, вредоносное влияние которых мы подозреваем; сюда нужно отнести сероводородный газ, некоторые органические кислоты и прочее; присутствие этих последних в вагонах, по всей вероятности, не превосходит весьма малых величин, а потому главная роль в загрязнении воздуха останется на стороне пыли.

Теперь перейдём к рассмотрению вопроса о влажности воздуха в вагонах.

Искусственные условия, в которые поставлен человек в замкнутой атмосфере вагонов, изменяют в большей или меньшей мере отправления его организма и вызывают координирование их между собою. Огромное большинство координаций, вследствие их сложности и разнообразия, не может быть нами обнаружено; однако при исследовании влияния на организм искусственно созданных условий всегда должно иметься в виду существование изменений и координирование различных отправлений организма, вызываемых совокупностью данных условий. С этой точки зрения, гигрометрическое состояние воздуха жилых помещений представляет несравненно больший интерес, чем это кажется при первом взгляде на дело.

Несмотря на кажущуюся простоту рассматриваемого вопроса, он всё ещё состоит в группе малоисследованных и время от времени возбуждает полное разногласие во мнениях, вероятно, вследствие недостаточно правильной его постановки.

Из графической таблицы влажности, помещённой в № 39–40 «Железнодорожного Дела» 1891 г., можно усмотреть, каким значительным колебаниям подвергается как относительная, так и абсолютная влажность воздуха; для нас, очевидно, важнее вопрос об относительной влажности, так как процентное её выражение даёт понятие о том, насколько ещё данный воздух может отнять влаги от имеющихся влажных предметов<sup>4</sup>. Было бы крайне поспешно, основываясь на подобных приведённых средних

величинах влажности воздуха, в некоторых или даже во многих пунктах, пытаться установить нормы влажности для замкнутых помещений вообще и вагонов в особенности. Влияние данного гигрометрического состояния воздуха на организм никак не может быть тождественным с влиянием такого же гигрометрического состояния замкнутого воздуха, как это будет выяснено ниже, – скорее следует ожидать значительной разницы.

Условия пребывания в вагонах, говоря вообще, весьма близки между собою в разных даже весьма удалённых пунктах государства, особенно в те периоды времени, когда мы находимся под наиболее продолжительным и наибольшим влиянием замкнутого воздуха, т.е. в те периоды, которые в данном случае и представляют наибольший интерес; между тем, избирая нормы влажности вагонного воздуха, мы говорим о средних годовых величинах атмосферной влажности, о том, что сама природа нам указывает те или другие пределы, о привычке к тем или другим колебаниям влажности, существующим в определённой местности и проч., и проч. Даже заключения о вреде или безвредности того или иного содержания паров в замкнутом воздухе делаются на основании соображений, что в природе в здоровых местностях встречается такая-то влажность, между тем эти пределы весьма широки, например, 13 % (Ялта, Севастополь, Ташкент), 96–90 % и выше (Москва, Симферополь и другие). Неосновательность таких соображений слишком очевидна, чтобы об этом распространяться.

Вследствие такой постановки вопроса до сих пор не выработано норм влажности, с которыми можно было бы сравнивать данное гигрометрическое состояние вагонного воздуха. Каждый, кто начинает говорить или писать об этом предмете, с равным правом предлагает свои нормы и так же, как и другие, без достаточного основания.

Профессор Август считает влажность нормальной в пределах от 45 % до 50 %; в Бостоне комиссия специалистов определила считать влажность нормальной от 60 % до 70 %; профессор Шомон даёт для Англии величины от 70 % до 80 %; д-р Тараткевич для нашего климата в своей работе о вентиляции вагонов признаёт нужным установить нормы в 40–60 % на том основании, что пределы влажности Америки и Англии не могут быть применены к нашему континентальному климату, где наружный воздух обыкновенно с малым процентом влажности (?).

Вот что говорит Э. Ленц о выборе пределов в содержании водяного пара для жилых помещений: ниже 40 % влажность, конечно, недостаточна; через вдыхание такого сухого воз-

<sup>4</sup> Степень влажности данного воздуха, как это выяснилось в последнее время, нагляднее всего характеризуется величиной недоувлажнения (Sattigungsdeficit), выражающей собою количество паров (в граммах на куб. метр), какое ещё может воспринять данный воздух до своего насыщения или же, приблизительно разность между давлением паров, насыщающих данный воздух и давлением паров, заключающихся в нём в действительности.



| № общ. табл. (раб. Тараткевича) | Время наблюдений | Число занят. мест абсол. и % | %, влажность |      |       | °С, температура |       |       | Число наблюдений | Примечание      |
|---------------------------------|------------------|------------------------------|--------------|------|-------|-----------------|-------|-------|------------------|-----------------|
|                                 |                  |                              | Среднее      | max  | min   | Среднее         | max   | min   |                  |                 |
| 10                              | 11/III           | 38/55                        | 63,6         | 77   | 60    | 19,3            | 20,0  | 17,0  | 3                | Вентил. открыты |
| 11                              | —                | 30/45                        | 63,6         | 72   | 64    | 21,9            | 24,0  | 19,8  | 3                |                 |
| 12                              | 20/I             | 42/60                        | 93,5         | 98   | 88    | 16,7            | 17,0  | 16,4  | 2                |                 |
| 13                              | —                | 45/65                        | 77,0         | 79   | 75    | 19,9            | 24,0  | 16,2  | 2                |                 |
| 14                              | 23/I             | 58/84                        | 85,0         | 92   | 79    | 20,1            | 22,0  | 18,4  | 2                |                 |
| 16                              | 16/III           | 70/100                       | 74,5         | 79   | 67    | 22,9            | 24,6  | 18,4  | 4                |                 |
| 17                              | —                | —                            | 75,0         | 79   | 71    | 23,0            | 25,4  | 20,4  | 4                |                 |
| 18                              | —                | 62/90                        | 83,0         | 85   | 81    | 17,9            | 19,8  | 16,0  | 2                |                 |
| 19                              | —                | 70/100                       | 75,5         | 78   | 73    | 21,4            | 23,9  | 19,8  | 2                |                 |
| 20                              | —                | —                            | 74,0         | 77   | 71    | 23,0            | 24,6  | 21,6  | 2                |                 |
| 21                              | —                | 68/97                        | 78,0         | 78   | 78    | 20,0            | 20,0  | 20,0  | 1                |                 |
| 22                              | 22/III           | 47/68                        | 73,6         | 79   | 66    | 19,8            | 22,0  | 17,4  | 3                |                 |
| 24                              | —                | 50/72                        | 70,0         | 72   | 66    | 21,2            | 21,2  | 21,0  | 3                |                 |
| 25                              | —                | —                            | 82,0         | 86   | 74    | 19,6            | 22,4  | 18,0  | 3                |                 |
| 26                              | —                | 58/84                        | 77,0         | 79   | 74    | 20,8            | 21,6  | 20,0  | 3                |                 |
| 29                              | 30/III           | 68/97                        | 78,0         | 81   | 75    | 19,0            | 20,0  | 18,0  | 2                |                 |
| 30                              | —                | 54/78                        | 79,5         | 83   | 76    | 18,4            | 19,2  | 17,6  | 2                |                 |
| 31                              | —                | 57/83                        | 81,0         | 87   | 78    | 18,9            | 20,9  | 18,0  | 3                |                 |
| 32                              | —                | 57/72                        | 78,0         | 80   | 77    | 21,3            | 22,0  | 20,2  | 3                |                 |
| 33                              | —                | 50/72                        | 78,0         | 73   | 78    | 16,0            | 16,0  | 16,0  | 1                |                 |
| 34                              | 4/IV             | 53/94                        | 74,6         | 76   | 73    | 20,9            | 23,2  | 19,0  | 3                |                 |
| 36                              | —                | 70/100                       | 67,0         | 75   | 62    | 19,5            | 20,0  | 18,4  | 3                |                 |
| 37                              | —                | —                            | 77,3         | 80   | 75    | 19,1            | 20,0  | 18,4  | 3                |                 |
| Среднее из всех                 |                  |                              | 76,46        | 80,4 | 73,09 | 20,01           | 21,41 | 19,48 | 59               |                 |

духа лёгкие слишком бы высохли (?)<sup>5</sup>; напротив, влажность воздуха может достигать 100 % без особенной неприятности для дышащих и без вреда для здоровья, но при этом совершенном насыщении малейшее понижение температуры производить осадок находившейся в парах воды, отчего все предметы, принимающие влажность, делаются сырыми; поэтому мы примем высший предел влажности ниже 100 %, около 80 %.

Если внутренняя температура 18°C, то при 80 % влажности этот воздух может охладиться до 14,5°C, производя осадка водяного пара; при 40 % может без осаждения пара охладиться от 18° до 4,3°C.

Какова же в действительности встречающаяся степень влажности в пассажирских вагонах?

Д-р Тараткевич произвёл ряд наблюдений над влажностью в вагонах различных классов; наибольшее число определено: сделано в вагонах третьего класса, почему и привожу здесь показания влажности в связи с температурой для вагонов третьего класса.

<sup>5</sup> В Петербурге, отличающемся сыростью местности, по проф. Флавицкому, лучшие в году ясные дни с прекрасной погодой и приятным здоровым воздухом сопровождаются низким процентом влажности ниже 50 %, даже при 30–24 % и ниже.

Наибольшая наблюдаемая влажность = 98 % при 17°C, наименьшая 47 % при 15,6°C, последняя в вагоне II класса старой конструкции. Пользуясь этими данными, можно прийти только к тому выводу, что влажность в пассажирских вагонах и в холодное время года (большинство наблюдений производилось в январе и марте) чрезвычайно высока, при небольшом понижении температуры воздуха уже происходит осаждение пара на стенах, окнах и проч.; вместе с этим развитие процессов разложения органической пыли идёт энергичнее, вследствие чего воздух вагона становится пахучим и крайне неприятным.

После ознакомления вкратце с гигиеническим состоянием воздуха вагонов, нам остаётся рассмотреть некоторые соображения по вопросу о выборе норм влажности. Этот вопрос, играющий весьма важную роль, полагаю, мог бы быть решён только в зависимости от тепловой экономии тела, т.е. от стремления нашего организма поддерживать тепловое равновесие, несмотря на различие внешних условий.

Мы знаем, что, вследствие различных жизненных процессов, в нашем теле освобождается огромное количество тепла, по Петтенко-

феру, более 3 миллионов единиц в сутки; этой теплотой можно бы нагреть от 0° до 100°С 30 куб. дециметров воды; при некоторых обстоятельствах количество освобождаемого тепла может увеличиваться или уменьшаться до 50 %; при этом для сохранения здоровья необходимо, чтобы теплота тела существенно не изменялась, т.е. чтобы тепловой приход внутри организма и расход на периферии его находились в некотором равновесии.

Каким же образом поддерживается тепловое равновесие организма?

В данном случае нас интересует только вопрос о расходовании телом излишка развиваемой теплоты.

Расходование телом такого громадного количества тепла происходит тремя путями: а) лучеиспусканием; б) передачей посредством других тел; в) путём испарения. Между этими тремя путями существует постоянное координирование; усиленное расходование тепла одним путём совершается за счёт других двух и наоборот. Расходование тепла путём лучеиспускания и теплопроводности при нормальных условиях в той или иной мере существует постоянно; в испарении же следует видеть важнейшее средство, находящееся в распоряжении организма для восстановления нарушенного равновесия в его тепловой экономии.

Мы уже ранее видели, какое количество водяных паров выделяется из тела. При опытах Войта и Петтенкофера с известным мюнхенским респиратором было найдено, что путём лёгочного и кожного дыхания испаряется воды в 24 часа от 900 до 2000 граммов и более, вследствие чего отнимается от тела 504 000–1 120 000 единиц тепла (один грамм воды для обращения в пар потребляет 560 единиц тепла, освобождаемого телом).

Нижеприведённая таблица, составленная по Петтенкоферу, даёт понятие о той поразительной разнице в количественных эффектах, которая достигается путём испарения при лёгочном дыхании взрослого человека, в зависимости от температуры и влажности.

| Температура,<br>°С | Влажность,<br>в % | Количество<br>выделяемой<br>в сутки тепло-<br>ты, в кало-<br>риях | Разница |
|--------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------|---------|
| 0°                 | 0 %               | 293 040 кал.                                                      | —       |
| 0°                 | 50 %              | 279 090 кал.                                                      | 13 050  |
| 0°                 | 100 %             | 265 050 кал.                                                      | 14 040  |
| 30°                | 0 %               | 274 050 кал.                                                      | —       |
| 30°                | 50 %              | 189 720 кал.                                                      | 84 930  |
| 30°                | 100 %             | 105 390 кал.                                                      | 84 330  |

Человеческий организм обладает, правда, огромной степенью приспособляемости, но следует, однако помнить, что напряжённость функционирования каких-либо органов или продолжительная ослабленность их не могут пройти бесследно в смысле влияния на общее состояние организма.

При сухом и тёплом воздухе усиливается функционирование сосудисто-двигательных нервов и вместе с тем испарение; усиленное функционирование производит известные болезненные явления в организме, степень которых находится в прямой зависимости от напряжённости и продолжительности функционирования.

При тёплом и влажном воздухе поддержание теплового равновесия в теле крайне затрудняется, так как вышеуказанные пути расходования тепла в большей или меньшей степени уже парализованы. В зависимости от степени влажности замкнутого воздуха, количество выделяемой телом влаги значительно сокращается. Это количество должно считаться функцией от влажности окружающего воздуха, которая, к сожалению, неизвестна; легко видеть, что между этими двумя величинами должна существовать обратная зависимость (Э. Ленц). Избыток накапливающейся теплоты при тёплом и влажном воздухе и усиленное функционирование органов, стремящихся восстановить равновесие, отражается известным болезненным образом на организме.

Теперь рассмотрим, в каких действительно условиях находятся пассажиры вагонов по отношению к поддержанию и урегулированию тепловой экономии тела.

Лучеиспускание тела совершенно устраняется в тесноте вагона, так как тело окружено одинаково тёплыми телами, т.е. приход и расход взаимно покрывается, в местах же близких к стенам и окнам, происходит крайне вредное неравностороннее лучеиспускание; теплопроводность уменьшается до крайне малых размеров, так как воздух вагона, обладая весьма слабой подвижностью и уменьшенной, вследствие сравнительно большой влажности, теплопрозрачностью скоро приобретает температуру, близкую к температуре окружающей более тёплой среды. И так главное расходование тепла приходится на испарение влаги кожей и оболочками. При возвышенной температуре и некоторой, до сих пор недостаточно выясненной степени влажности вагонного воздуха, поры кожи чрезвычайно раскрываются; чувствуется потребность в усиленном токе воздуха для возможности увеличения передачи накапливающейся теплоты; между тем воздух вагона кажется нам неподвижным совершенно<sup>6</sup>, раскрытые поры загрязняются вагонной

<sup>6</sup> При скорости менее 1/2 метра в секунду мы чувствуем себя окружёнными абсолютно спокойным воздухом, только при скорости в 1 метр начинаем ощущать слабое движение воздуха.



пылью, в которой начинается работа разложения, чувствуется недостаток в воздухе, жажда, т.е. потребность охлаждения оболочек, и даже чрезмерная сухость; последнее обстоятельство (обман чувства) не раз наблюдалось в тесных жилых помещениях с тепло-влажным воздухом.

Обыкновенно сторонники более влажного воздуха, а также сторонники более сухого воздуха в жилых помещениях, приводят в защиту своего одностороннего мнения влияние климата различных местностей на здоровье человека. Это благодарное основание защиты требует, однако крайней осмотрительности, вследствие сложности имеющих место условий<sup>7</sup>.

Воздерживаясь от рассмотрения этой стороны вопроса, перейду к выяснению той роли, какую может играть, по отношению к безвредному пребыванию пассажиров в вагоне, изменение пропорций кислорода во вдыхаемом воздухе.

Выше<sup>8</sup> нами было указано на то обстоятельство, что объёмное содержание кислорода в воздухе весьма близко к постоянному, амплитуды колебаний его заключаются в весьма малых пределах 0,04–0,13 %; между тем в воздухе, содержащем много органических, легко окисляющихся веществ, исследователи находили постоянно менее кислорода.

Богатый ряд данных, полученных при анализе Смита в Манчестере и многих других местностях Великобритании, указывает на постоянство в уменьшении кислорода при известных условиях. Если обратить внимание, какое количество воздуха проходит через наши лёгкие, то и сравнительно небольшой недочёт в кислороде даст в сумме уже заметную убыль.

Уменьшение кислорода в воздухе происходит вследствие изменения барометрического давления, вследствие вытеснения части его водяными парами, различными газами, твёрдыми суспендированными частицами пыли и т.д. Ввиду отсутствия прямых опытов нет никаких данных для суждения об этом.

Так как, по мере уменьшения кислорода в содержании воздуха, на его место могут вступать различные вредные примеси, обстоятельство уменьшения кислорода в вагонном воздухе должно обратить на себя серьёзное внимание. Это последнее может указать на существование в вагонном воздухе тех или других неблагоприятных или даже вредных условий, видоизменяющих нормальный состав воздуха. К сожалению, анализы содержания кислорода в воздухе крайне затруднительны и доступны только для хорошо обставленной лаборатории, поэтому от этих определений в вагонном воздухе приходится нам отказаться.

Всё вышесказанное показывает, что имеющее место в вагонном воздухе уменьшение кислорода ни в коем случае не может быть игнорируемо. Обстоятельства этого уменьшения в содержании кислорода, ясно указывают на ошибочность того мнения, что существующая в жилых помещениях убыль кислорода настолько мала, что ей можно вообще пренебрегать, на том основании, что в природе встречается несравненно большее уменьшение этой составной части воздуха, и мы всё-таки чувствуем себя хорошо.

Оставляя в стороне огромное физиологическое влияние, которое имеет на наш организм изменение атмосферного давления<sup>9</sup>, скажу несколько слов о гигиеническом значении света.

Этот вопрос сравнительно молод, чтобы можно было прийти к безусловному решению его. Из опытов Шпека, Фубини, Ронка и других выяснилось, что свет увеличивает выделение углекислоты. В какой мере это обстоятельство влияет, в смысле противодействия скоплению излишнего количества углекислоты в организме, указать нет достаточных данных. Давис и Блент показали, что сильное освещение неблагоприятно отражается на развитии низших форм жизни, бактерий; на этом основании свет причисляют к одному из наиболее могущественных дезинфицирующих средств. Если жилое помещение обильно освещено солнечными лучами, то процессы распада органических веществ, тления и гниения значительно сокращаются. Большое количество окон в вагонах, конечно, составляет в этом отношении огромное преимущество сравнимое с жилыми помещениями. Не последнюю роль играют солнечные лучи и в том смысле, что, производя местное нагревание предметов или воздуха, способствуют нарушению равновесия последнего и вызывают воздушные течения, которые сами по себе, могут тормозить процессы развития низших организмов...

Приступим к рассмотрению и оценке тех мер, которые в той или другой степени практикуются железными дорогами в видах оздоровления воздуха пассажирских вагонов.

Очевидно, что для достижения более удовлетворительных результатов на пути к указанной цели, необходимо целесообразно сочетать само устройство вагонов с содержанием их во время эксплуатации. В этом отношении сделано уже многое, но немало остаётся и сделать, чтобы достигнуть возможного улучшения воздуха, назначенного для дыхания пассажиров.

Меры, практикуемые нашими железными дорогами, направлены главным образом к улуч-

<sup>7</sup> Ф. Клэден. Физ. геогр. Целебные и вредные климаты.

<sup>8</sup> См. № 41–42 «Железнодорожное Дело» с.г. – Ред.

<sup>9</sup> Фламарион считает наиболее благоприятно влияющим на общее состояние организма давление около 764 мм рт. ст.

шению конструкции вагонов вообще, к улучшению систем их отопления, освещения и вентиляции; за сим значительно меньшее внимание уделяется очистке вагонов от пыли и грязи, а также очистке и дезинфекции ретирадников во время эксплуатации вагонов.

Слишком всё это ясно, чтобы нужно было ещё распространяться обо всей важности содержания внутреннего помещения вагона в чистоте и опрятности и о необходимости немедленного устранения всяких образовавшихся, частью от недостатка чистоты, частью от беспечного обращения с разного рода отбросами очагов, вводящих в воздух вагона вредных для организма пассажиров примесей.

Очевидно, что вентиляция и проветривание вступает в свои права лишь тогда, когда соблюдены требования относительно чистоты вагонов, а до тех пор как-то, так и другое, в большинстве случаев, оказывается недействительным. Я уже раньше приводил, правда, резкое, но в данном случае весьма меткое, выражение по сему поводу профессора Петтенкофера, теперь же обращаю внимание на него, потому что многие видят в вентиляции главное и даже единственное средство к улучшению воздуха вагонов, не придавая всему остальному должного значения; очевидно и то, что одним только соблюдением даже безукоризненной чистоты мы далеко не уйдём по пути к цели. Там, где приходится иметь дело с неизбежным установившимся, периодическим или постоянным выделением в воздух веществ, способствующих загрязнению последнего, там мы должны обратиться за помощью к вентиляции, которая в таком случае одна может приблизить воздух вагона по качеству к требуемому. Что касается дезинфекции вагонов, то эта последняя, при современном состоянии вопроса, как самостоятельная мера для наших целей, должна отойти на задний план.

Мы уже достаточно утвердились в том понятии, что главнейшим фактором порчи вагонного воздуха является пыль и особенно органическая. Это обстоятельство заставляет нас прежде всего стремиться к очищению воздуха вагонов от пыли. Совершенно очистить воздух от пыли невозможно, но существует полная возможность в значительной мере уменьшить её количество, воспользовавшись её физическими свойствами.

Говоря вообще, очистка вагонов от пыли, грязи и т.п. во время службы их стоит, при определённом на данной дороге пассажирском движении, в зависимости от количества вагонов, несущих службу и, вследствие этого, более или менее продолжительное время находящихся в ожидании постановки в поезд. Однако даже на таких дорогах, где вагоны находятся вне поездов достаточное для очистки их время, и где имеют-

ся специальные для этой цели артели рабочих, очистка вагонов носит характер случайности; это обстоятельство необходимо приписать отсутствию всякой системы в этом деле; там же, где нет этого кормчего, средства помогают мало.

Не стану останавливаться на таких обыкновенных вещах, как мытьё полов в вагонах, выколачивание и проветривание подушек сидений, половиков и т.д.; рациональное употребление этих практикуемых всеми железными дорогами мер не представляет решительно никакой сложности. Здесь я хочу сделать лишь несколько замечаний, которые в значительной степени могли бы помочь делу уменьшения пыли в вагонах.

Прежде всего в этом отношении обращают наше внимание мягкие подушки пассажирских сидений. Всем известно, что мягкая мебель содержит в себе массу пыли, что эта пыль, говоря вообще, не может быть выколочена, так как и сама внутренняя набивка подушек (волос, трава и проч.) представляет собою коллектор и постоянный источник пыли, легко проникающей наружу. Те, которым приходилось присутствовать при пропускании старого волоса через трепальную машину, знают, какое выделяется при этом большое количество тонкой пыли.

Известно, что деревянный остов подушки, в котором помещается, вместе с пружинами, её внутренняя набивка как снизу, так и сверху, обыкновенно покрывается редкой пеньковой или льняной тканью, неспособной удерживать пыль от свободного проникания её наружу при всяком ударе по подушке, даже небольшом, которым обыкновенно сопровождается спускание пассажира в сиденье, не говоря уже о поглощении мягкой мебелью различных газов. Всё это указывает на неотложную необходимость замены редкой ткани плотной, безразлично будет ли это прокрашенный тщательно брезент, добротная клеёнка или что-либо другое в этом роде; только поверхность возможно менее проницаемого для пыли покрова следует накладывать чистовую обивку, которая в таком случае будет покрываться, главным образом, наружной пылью, а эта последняя может быть легко выколачиваема и удаляема несколько влажной ветошью<sup>10</sup>.

Всем известно, что в вагонах, снабжённых мягкой мебелью воздух и после проветривания крайне худой. Нередко приходилось, пользуясь обонянием, признавать воздух I и II классов, идущих, в поезде без пассажиров (особенно это замечается в вагонах с отделениями), худшим, чем в вагоне III-го класса, наполненном так называемой чистой публикой. В работе д-ра

<sup>10</sup> В настоящее время на американских дорогах употребляют мягкую пружинную мебель без набивки, чертежи такой мебели можно найти в американском журнале «Nation, Car and Locom. Builder» (1891, Vol. XXII, Number 5 Supl).



Тараткевича находим, что воздух в вагоне II-го класса, при соответственном числе пассажиров, был бы несравненно хуже, чем в вагоне III-го класса. Новые вагоны, устроенные на Николаевской железной дороге, устраняют возможность искать главную причину этого обстоятельства в неплотности оконных рам, дверей и т.п.

Источниками пыли в вагонах являются также различного рода панели, половые настилы и проч. Верёвочные половики (смоляные) безусловно не должны быть допускаемы в вагонах, так как они впитывают в себя массу пыли, подвергающейся под влиянием влаги, мокротных отделений и прочего, разложению, пыль от ударов и трения ногами поднимается в воздух и заражает его. Лучшими половиками нужно признать плотные брезентовые, с которых легко можно время от времени смывать пыль и грязь тряпкой или шваброй.

На некоторых дорогах принято производить время от времени обмывание водой стен и потолков безразлично деревянных или обитых клеёнкой. Для этой цели можно рекомендовать более удобный и целесообразный способ. В каждый вагон поочерёдно вводится рукав, снабжённый металлической головкой с чрезвычайно мелкими отверстиями; путём распыления воды увлажняют воздух, стены, мебель и т.д. Когда пыль оседет, тогда осторожно собирают её с мебели влажными ветошками, а со стен и потолка катками, предложенными д-ром Освальд-Вольфом, обёрнутыми губкой, ватой или сукном и помещёнными в вилке, снабжённой длинной рукоятью; обмотка, очевидно, требует тщательной промывки по мере своего загрязнения.

Так как проветривание вагонов, свободных от пассажиров, играет весьма немаловажную роль в смысле оздоровления воздуха вагонов, то необходимо окна устраивать так, чтобы их возможно было с удобством открывать во всякое время года. Лучший тип в этом отношении – спускные рамы. Этот тип рам, практикуемый на различных железных дорогах, на Николаевской дороге получил право гражданства.

Из вышеизложенного мы видим, что задачи обыденной вагонной дезинфекции при нынешнем состоянии вопроса сводятся до минимума, и что приведённая раньше очистка вагонов и вентиляция, к которой мы сейчас и перейдём, составляют главные сферы, поглощающие всецело наше внимание в вопросе об оздоровлении воздуха пассажирских вагонов.

Ближайшая задача вентиляции вагонов заключается не в восстановлении нормального состава воздуха, что очевидно, недостижимо,

а в удалении и рассеянии вредных примесей вагонного воздуха, главным образом, органической пыли, служащей средой для различного рода органических процессов. Вызываемое вентиляцией рассеивание пылевых частиц уже само по себе способно до некоторой степени ослабить энергию процессов развития и разложения. Дюкло говорит, что рассеивание зародышей убивает их действие; то же самое нужно сказать и о тех гнилостных грибах и спорах, которые образуют собою целые колонии, носящиеся в воздухе вагона.

Следующая задача вентиляции не менее важная, но на которую до последнего времени обращалось весьма мало внимания, состоит в том, чтобы с помощью установившегося обмена воздуха способствовать поддержанию теплового равновесия тела. Пренебрежение этой последней задачей питает и до сих пор такие теории, как теория отопления и вентиляции грым воздухом, доведённым до температуры тела или даже выше.

Рассмотрение этой далеко ещё невыясненной задачи не входит в программу настоящего этюда, и я позволю себе коснуться её лишь вскользь постольку, поскольку это необходимо для суждения о практикуемой в вагонах вентиляции грым воздухом; теперь же перейду к ближайшей задаче вентиляции.

Весьма понятно, что в вагоне, если бы он представлял собою совершенно изолированное, не сообщаемое с наружным воздухом пространство, наступил бы наконец для дыхания критический момент раньше или позже – в зависимости от количества пассажиров и от объёма вагона, правильнее сказать, от первоначального объёма свежего воздуха...

Теперь перейдём к рассмотрению тех приспособлений, которыми достигается искусственная вентиляция вагонов.

Все приспособления этого рода разделяются на две главные группы: первая из них основывается на непосредственном вталкивании свежего воздуха в вагон силой ветра, вторая – на высасывании из вагона также силой ветра испорченного воздуха; при этом предполагается, что такое же количество свежего воздуха поступает в вагон путями естественной вентиляции. Комбинации вентиляционных приспособлений обеих групп встречаются редко.

Мы знаем, что работа всех подобных аппаратов, действующих силой воздушных течений, находится в тесной зависимости от этих последних, и что этим обстоятельством обуславливается непостоянство их действия.

**А. М. Крицкий**

(«Железнодорожное Дело» №№ 39–40, 41–42, 43–44 и 45–46 (1891–1892 годы)) ●



## РЕЦЕНЗИЯ 134

Рыночная экономика на транспорте как юридическая дисциплина.



## ПУБЛИКАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ ИЗДАНИЙ 138

Материалы «Бюллетеня ОСЖД» в первом полугодии 2022 года.

## КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

## АВТОРЕФЕРАТЫ ДИССЕРТАЦИЙ 142

- Напряжённо-деформированное состояние и устойчивость равновесия цилиндрических оболочек.
- Повышение ресурса пары «колесо-рельс» за счёт рационального подбора свойств материалов.
- Качественный анализ характерных особенностей поведения гидродинамических и неголономных систем с периодическими управлениями на основе конечномерных моделей.
- Автоматизированная подсистема диагностирования электрооборудования преобразователей частоты.
- Автоматизация управления перевозками сжиженного природного газа морским транспортом.

## НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ 150

Недавно вышедшие книги и учебники о транспорте.





# Правовое регулирование рыночной экономики на транспорте как юридическая дисциплина



*Елена Геннадиевна Багреева*

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия.

✉ [bagreg@yandex.ru](mailto:bagreg@yandex.ru).

Елена БАГРЕЕВА

Артамонова С. Н., Борисова С. В., Гоц Е. В. [и др.] Правовое регулирование рыночной экономики (на примере транспортной отрасли): Учебник / Под ред. А. И. Землина. – М.: КноРус, 2023. – 690 с. ISBN 978-5-406-10740-9.

## АННОТАЦИЯ

Статья представляет собой рецензию на учебник «Правовое регулирование рыночной экономики (на примере транспортной отрасли)» для студентов транспортных вузов, обучающихся по программам магистратуры, подготовленный коллективом кафедры «Транспортное право» Юридического института Российского университета транспорта под общей редакцией Заслуженного деятеля науки Российской Федерации, доктора

юридических наук, профессора А. И. Землина. Автор отмечает не только актуальность тем в содержании учебника, но и многоаспектность их освещения: от теоретических аспектов до практики их реализации. Глубина научного подхода, продемонстрированная авторами, обеспечивает полное и всестороннее усвоение материала, обеспечивая практическую значимость и потенциальную востребованность учебника. Авторам удалось определить оптимальный объем достаточности материала в учебнике для формирования компетенций правовой направленности у специалистов высшей квалификации в области транспорта, а также сотрудников органов государственного и корпоративного управления, необходимых для успешного выполнения ими должностных обязанностей в условиях рыночной экономики.

Ключевые слова: рыночная экономика, транспорт, право, транспортное право, законодательство, обучение, студенты, правовое обеспечение.

Для цитирования: Багреева Е. Г. Правовое регулирование рыночной экономики на транспорте как юридическая дисциплина // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 4 (101). С. 134–137. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-13>.

Полный текст статьи-рецензии на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.  
The full text of the review article in English is published in the second part of the issue.

События, происходящие в настоящее время в мире, связаны с переосмыслением целей и задач развития государств, роли общества, государства и права, состояния современных международных отношений, экономических, социальных, правовых проблем. Новые опасности и угрозы для устойчивого развития государства в целом, и транспортной системы, в частности, вызывают пристальный интерес многих отечественных правоведов [1–8].

Успешное функционирование транспортной системы предполагает не только знание её субъектами нормативных правовых актов, но и практическую организацию мероприятий по обеспечению безопасности транспортной инфраструктуры на основе доктринальных подходов, комплекса медицинских и медико-социальных мероприятий, направленных на снижение риска возникновения чрезвычайных ситуаций, на минимизацию медико-санитарных последствий и сохранение здоровья людей [9; 10], выполнение международно-правовых обязательств нашего государства в транспортной сфере, уменьшение ущерба окружающей природной среде [11; 12] и многое другое.

Формирование и систематическое совершенствование у специалистов транспортной сферы высшей квалификации профессиональных компетенций, позволяющих им осуществлять правозначимые управленческие действия является важной задачей [13; 14], особенно в условиях рыночной экономики. Способность выпускников безошибочно квалифицировать правонарушения, неукоснительно обеспечивать исполнение норм специального, – в том числе, транспортного, – законодательства в процессе проектной деятельности, осуществлять руководство производственными, технологическими, логистическими процессами, решение иных профессиональных задач на основе понимания сущности правовых явлений и процессов, проблем правового регулирования деятельности на транспорте, предопределена потребностями реализации задач, поставленных Транспортной стратегией Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года.

Принимая во внимание потребности в конкретных специалистах на транспорте, а также основываясь на собственных более ранних научных исследованиях и учебной литературе [15–18], коллектив учёных – представителей научной школы «Транспортное право», созданной и функционирующей в Юридическом институте Российского университета транспорта, поставил перед собой амбициозную задачу – восполнить недостаток учебной литературы, необходимой для преподавания студентам транспортных образовательных организаций, обучающимся по программам магистратуры, а также слушателям программ переподготовки дисциплин, связанных с правовым обеспечением профессиональной деятельности в условиях рыночной экономики. Высокопрофессиональный коллектив авторов во главе с Заслуженным деятелем науки Российской Федерации, доктором юридических наук, профессором Александром Игоревичем Землиным, определив достаточность



материала, с успехом справились с поставленными задачами, подготовив учебник «Правовое регулирование рыночной экономики (на примере транспортной отрасли)» [19].

В учебнике в систематизированной форме представлен материал курса «Проблемы правового регулирования имущественных отношений в сфере транспорта», преподаваемого студентам транспортных вузов, обучающихся по программе магистратуры по направлению 40.04.01 Юриспруденция, профилю «Правовые основы государственного и корпоративного управления цифровой экономикой и транспортом», а также дополнительной профессиональной программе переподготовки «Правовое регулирование рыночной экономики», реализуемой специалистами в сфере управления на транспорте.

С удовлетворением отмечу, что содержание учебного издания полностью соответствует квалификационным требованиям по должностям специалистов, установленным в Квалификационном справочнике должностей руководителей, специалистов и других служащих, утверждённом постановлением Минтруда России от 21.08.1998 г. № 37 (в ред. постановления Минтруда России от 21.01.2000 г. № 7), а также требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 40.04.01 «Юриспруденция», утверждённого приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 25 ноября 2020 г. № 1451.

Следует отметить, что при формировании структуры и содержания учебника авторами были учтены потребности специалистов на транспорте в получении правовых знаний по всем направлениям практической деятельности. В частности, в учебник включены дидактические блоки, отражающие проблемные вопросы:

- правового регулирования государственного управления в сфере рыночной экономики;
- применения норм международного частного права в условиях рыночной экономики и права международных перевозок;
- административно-правового и частноправового регулирования в сфере транспорта;
- регулирования отношений «работник–работодатель» в условиях рыночной экономики; спо-



совов и форм защиты имущественных и неимущественных прав хозяйствующих субъектов;

- финансово-правового обеспечения развития транспортной системы России;
- правового обеспечения законности, охраны и защиты прав участников транспортных отношений.

Реализуя положения уже упоминавшейся выше Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года, авторы учебника уделили особое внимание вопросам правового регулирования транспортных отношений и финансово-правовому обеспечению функционирования транспортной системы на долгосрочную перспективу.

Стоит также подчеркнуть оперативность коллектива авторов: исходя из поставленной Министром транспорта Российской Федерации задачи по выполнению Российским университетом транспорта функции базового отраслевого вуза, центра учебной и методической работы, в сжатые сроки был подготовлен рецензируемый учебник на высоком профессиональном уровне. А. И. Землин, выступивший редактором и организатором, вдохновил коллектив единомышленников – преподавателей кафедры, руководителей и преподавателей других кафедр Юридического института РУТ, специалистов – практиков, экспертов и научно-педагогических работников образовательных организаций на подготовку необходимого учебника.

Убедена, что материал учебника станет базовым для всех транспортных образовательных организаций и обеспечит выработку единого подхода к содержанию и методике формирования у студентов и слушателей программ дополнительного профессионального образования, реализуемых транспортными образовательными организациями, правозначимых компетенций. Кроме того, содержание учебника позволит реализовать в обучении проектный и практико-ориентированный подходы, что максимально эффективно скажется на выполнении задач, поставленных Транспортной стратегией Российской Федерации, исполнении миссии и достижении стратегической цели университета в соответствии с Программой развития ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» в рамках реализации программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» [20–22].

Издание учебника будет способствовать формированию правовой культуры специалистов транспорта, являющейся важнейшей составляющей их профессиональной культуры [23, с. 403], чему, как следует из результатов историко-правового анализа источников, традиционно уделялось существенное внимание с момента создания Императорского московского инженерного училища [24, с. 261; 25, с. 248], традиции которого продолжает Российский университет транспорта.

Рецензируемое издание успешно вписывается во впечатляющий массив учебников, подготовленных представителями научной школы «Транспортное право» в целях обеспечения качественным

дидактическим материалом студентов транспортных вузов [26–32 и др.].

Материал, содержащийся в учебнике, изложен в доступной форме, учитывает и отражает современные тенденции динамично развивающегося российского законодательства, в том числе транспортного; последние изменения в нормативных правовых актах, регулирующих рыночную экономику.

Учебник «Правовое регулирование рыночной экономики (на примере транспортной отрасли)» полностью соответствует федеральному государственному образовательному стандарту, написан доступным, грамотным юридическим языком, и, вне всякого сомнения, будет востребован не только студентами транспортных вузов, аспирантами, научно-педагогическими и практическими работниками, но и широким кругом лиц, интересующихся вопросами правового регулирования современных рыночных отношений на транспорте.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Землин А. И., Козлов В. В. Безопасность жизнедеятельности для транспортных специальностей: противодействие терроризму на транспорте. Учебное пособие. – М.: Юрайт, 2020. – 156 с. ISBN 9785534140446.
2. Холиков И. В. Международно-правовые аспекты противодействия современным угрозам безопасности // Сб. материалов III Всероссийской науч.-практ. конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, Оренбургский государственный университет, 22–24 марта 2017 года. – Уфа: ООО «Первая типография», 2017. – С. 5–14. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41316162&pf=1>. Доступ 22.09.2022.
3. Холиков И. В. Теоретико-правовые аспекты международного сотрудничества в сфере противодействия угрозам экономической безопасности // Образование. Наука. Научные кадры. – 2012. – № 4. – С. 29–31. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17898557>. Доступ 22.09.2022.
4. Холиков И. В. Распространение эпидемий, пандемий и массовых заболеваний как глобальный вызов современности // Пути к миру и безопасности. – 2020. – № 2 (59). – С. 27–40. DOI: 10.20542/2307-1494-2020-2-27-40.
5. Zemlin, A., Kholikov, I., Mamedova, I. Current Issues of Metro Safety Technical Regulations. In: Proceedings of the 13th International Scientific Conference on Architecture and Construction 2020. Lecture Notes in Civil Engineering. Springer, Singapore, 2021, Vol. 130, pp. 236–247. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-981-33-6208-6\\_24](https://doi.org/10.1007/978-981-33-6208-6_24).
6. Chernogor, N. N., Zemlin, A. I., Kholikov, I. V., Mamedova, I. A. Impact of the Spread of Epidemics, Pandemics and Mass Diseases on Economic Security of Transport. E3S Web of Conferences, 2020, Vol. 203, pp. 05019. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020305019>.
7. Zemlin, A., Kholikov, I., Mamedova, I., Zemlina, O. Problems of Ensuring Security of Transport Infrastructure Facilities. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, Vol. 666, pp. 042002. DOI: 10.1088/1755-1315/666/4/042002.
8. Холиков И. В., Окоча В. А. Применение вооружённой силы частными морскими охраняемыми компаниями: динамика границ и специфика правового регулирования в современном мире // Журнал российского права. – 2020. – № 12. – С. 147–158. DOI: 10.12737/jrl.2020.154.
9. Холиков И. В. Международно-правовые аспекты реализации Транспортной стратегии Российской Федерации в сфере медицинского обеспечения на транспорте

// Транспортное право и безопасность. – 2018. – № 4 (28). – С. 93–99. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36782509>. Доступ 22.09.2022.

10. Холиков И. В., Клёнов М. В. Правовые и организационные вопросы контроля за состоянием здоровья работников и оказания медицинской помощи пассажирам на транспорте в России // Мир транспорта. – 2019. – № 3. – С. 180–191. DOI: 10.30932/1992-3252-2019-17-3-180-191.

11. Bagreeva, E. G., Shamsunov, S. K., Zemlin, A. I. Environmental Safety Conditions in the Transport Sector by Improving the Culture of Lawmaking. *Ekoloji*, 2019, V. 28, No. 107, pp. 4071–4076. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38665656>. Доступ 22.09.2022.

12. Bagreeva, E. G., Zemlin, A. I., Shamsunov, S. K. Does Environmental Safety Depend Upon the Legal Culture of Transport Specialists? *Ekoloji*, 2019, T. 28, No. 107, pp. 4961–4965. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41714699>. Доступ 22.09.2022.

13. Холиков И. В. Правовые знания для будущих транспортников // Мир транспорта. – 2020. – Т. 18. – № 1 (86). – С. 260–264. DOI: 10.30932/1992-3252-2020-18-260-264.

14. Холиков И. В. Право и транспорт: продолжение темы // Мир транспорта. – 2020. – Т. 18. – № 4 (89). – С. 246–253. DOI: 10.30932/1992-3252-2020-18-246-253.

15. Грувер Н. В., Землин А. И., Холиков И. В. Правовые проблемы и организационно-педагогические условия реализации интеграционного потенциала волонтерской деятельности в процессе подготовки специалистов в области юриспруденции: Монография. – М.: Русайнс, 2021. – 264 с. ISBN 978-5-4365-6596-5.

16. Артамонова С. Н., Расулов А. В., Пищелко А. В. [и др.]. Правовое обеспечение профессиональной деятельности (для студентов транспортных вузов): Учебник. – Сер. 76 Высшее образование (1-е изд.). – М.: Изд-во Юрайт, 2020. – 398 с. ISBN 9785534136555.

17. Землин А. И., Землина О. М., Клёнов М. В. [и др.]. Организационно-правовые основы функционирования транспортной системы в условиях сложной эпидемиологической обстановки: Учебник / Отв. ред. А. И. Землин, И. В. Холиков. – М.: Русайнс, 2020. – 310 с. ISBN 978-5-4365-6523-1.

18. Грувер Н. В., Землин А. И., Землина О. М., Клёнов М. В., Холиков И. В. Правовые и организационные основы добровольческой (волонтерской) деятельности: Учебник / Коллектив авторов; под ред. А. И. Землина. – М.: КноРус, 2021. – 156 с. ISBN 978-5-406-08761-9.

19. Правовое регулирование рыночной экономики (на примере транспортной отрасли): Учебник / Коллектив авторов; под ред. А. И. Землина. – М.: КноРус, 2023. – 690 с. ISBN 978-5-406-10740-9.

20. Землин А. И. Формирование правовой культуры специалиста на транспорте как условие реализации Транспортной стратегии и достижения национальных целей социально-экономического развития России // В сб.: Транспортная безопасность и противодействие терроризму на транспорте: правовые и организационные аспекты. II Международный научный форум. Российский университет транспорта, Юридический институт. – М.: РУТ, 2021. – С. 21–28. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47471414>. Доступ 22.09.2022.

21. Землин А. И. Актуальные организационно-правовые вопросы непрерывного профессионального

образования сил обеспечения транспортной безопасности // Образование и право. – 2020. – № 9. – С. 399–408. DOI: 10.24411/2076-1503-2020-10963.

22. Нестеров Е. А. Перспективы развития Юридического института Российского университета транспорта // Транспортное право и безопасность. – 2021. – № 3 (39). – С. 13–21. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46670534>. Доступ 22.09.2022.

23. Землин А. И., Холиков И. В. Аксиологические подходы к формированию правовой культуры специалиста-транспортника в современных условиях // Сб. научных трудов ИЗИСП «Правовые ценности в свете новых парадигм развития современной цивилизации». – М.: Инфра-М, 2020. – С. 403–411. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44306755>. Доступ 22.09.2022.

24. Петров Ю. И., Землин А. И., Землина О. М. Зарождение системы управления путями сообщения и транспортного законодательства России в IX–XVIII веках // Мир транспорта. – 2019. – Т. 17. – № 3 (82). – С. 260–277. DOI: 10.30932/1992-3252-2019-17-3-260-277.

25. Землин А. И., Петров Ю. И. Опыт правового регулирования и организации обучения и преподавания в Императорском московском инженерном училище: 1896–1913 // Вестник архивиста. – 2021. – № 1. – С. 248–258. DOI: 10.28995/2073-0101-2021-1-248-258.

26. Филиппова М. Ю., Расулов А. В., Пищелко А. В., Землин А. И. [и др.]. Транспортное право: Учебник / Отв. ред. А. И. Землин. – Сер. 73 Бакалавр и специалист (2-е изд., пер. и доп.). – М.: Юрайт, 2019. – 381 с. ISBN 9785534108453.

27. Землин А. И., Козлов В. В. Безопасность жизнедеятельности для транспортных специальностей: противодействие терроризму на транспорте: Учебное пособие. – Сер. 68 Профессиональное образование (1-е изд.). – М.: Юрайт, 2020. – 156 с. ISBN 9785534140446.

28. Артамонова С. Н., Землин А. И. [и др.]. Правовое обеспечение профессиональной деятельности (для студентов транспортных вузов): Учебник. – Сер. 76 Высшее образование (1-е изд.). – М.: Изд-во Юрайт, 2020. – 397 с. ISBN 978-5-534-13655-5.

29. Артамонова С. Н., Гоц Е. В., Землин А. И. [и др.]. Правовое обеспечение профессиональной деятельности для транспортных специальностей: Учебник / Отв. ред. А. И. Землин. – Сер. 68 Профессиональное образование. – М.: Юрайт, 2020. – 398 с. ISBN 9785534136555.

30. Артамонова С. Н., Гоц Е. В., Землин А. И. [и др.]. Правовое обеспечение профессиональной деятельности (для студентов транспортных вузов): Учебник / Отв. ред. А. И. Землин. – Сер. 76 Высшее образование (1-е изд.). – М.: Юрайт, 2021. – 397 с. ISBN 978-5-534-13655-5.

31. Артамонова С. Н., Гоц Е. В., Землин А. И. [и др.]. Правовое обеспечение профессиональной деятельности на транспорте для колледжей: Учебник / Отв. ред. А. И. Землин. – Сер. 68 Профессиональное образование. – М.: Юрайт, 2021. – 254 с. ISBN 978-5-534-14241-9.

32. Артамонова С. Н., Гоц Е. В., Землин А. И. [и др.]. Правовая культура: Учебник / Отв. ред. А. И. Землин. – М.: Юрайт, 2022. – 522 с. ISBN 978-5-534-15223-4.

33. Артамонова С. Н., Гоц Е. В. [и др.]. Актуальные проблемы правового регулирования и организации контрольно-надзорной деятельности: Учебник / Под ред. А. И. Землина. – М.: КноРус, 2023. – 590 с. ISBN 978-5-406-10620-4 (в печати).

#### Информация об авторе:

**Багреева Елена Геннадиевна** – доктор юридических наук, профессор, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия, [bagreg@yandex.ru](mailto:bagreg@yandex.ru).

Статья поступила в редакцию 05.09.2022, принята к публикации 22.09.2022.



# Материалы «Бюллетеня ОСЖД» в первом полугодии 2022 года



*Несмотря на то, что главным событием первого полугодия 2022 года для Бюллетеня Организации сотрудничества железных дорог – оставался его 65-летний юбилей, Бюллетень ОСЖД продолжал публиковать материалы о наиболее значимых событиях в жизни организации, которые несомненно будут представлять интерес и для читателей «Мира транспорта».*

*С согласия редакции Бюллетеня ОСЖД воспроизводим содержание ряда материалов его номера 1–2 за 2022 год.*

*Ключевые слова:* ОСЖД, Бюллетень ОСЖД, железные дороги.

**В**сдвоенном номере 1–2 Бюллетеня ОСЖД традиционно публикуются статьи и информация о деятельности ОСЖД и стран – членов организации.

Так, опубликован материал о транспортном комплексе Туркменистана, в котором отмечается, что в этой стране продолжается широкомасштабная реализация проектов по строительству и развитию объектов транспортной инфраструктуры с целью дальнейшего укрепления и совершенствования единой транспортной системы страны и её интеграции в международную транспортную сеть региона и евразийского пространства в целом для дальнейшего экономического процветания.

О реализации основных и самых ярких проектов в этой области рассказывается в статье, предоставленной Агентством транспорта и коммуникаций при Кабинете министров Туркменистана.

Публикуется информация «Чэндуской железнодорожной корпорации КЖД» о ходе работы по приданию железнодорожной накладной функции товарораспорядительного документа.

«Чэндуская железнодорожная корпорация КЖД» является одним из 18 региональных подразделений Корпорации КЖД, которая управляет железными дорогами провинций Сычуань, Гуйчжоу и города центрального подчинения Чунцин. Эксплуатационная длина железнодорожных линий на её территории составляет около 10 тыс. километров. Она занимает первое место по объемам грузовых и пассажирских перевозок в западной части китайской железнодорожной сети.

«Чэндуская железнодорожная корпорация КЖД» осуществляет железнодорожные перевозки грузов в составе контейнерных поездов в сообщении Китай–Европа, отправляющихся из города Чунцин и города Чэнду (административный центр провинции Сычуань). По количеству контейнерных поездов, отправленных из этих двух городов, она занимает первое место в Китае. В 2020 году компанией организовано и отправлено более 4700 контейнерных поездов, что составляет около 40 % от общего количества контейнерных поездов в сообщении Китай–Европа.

С 2018 года, при сотрудничестве с авиационными и водными транспортными компания-

*Для цитирования:* Материалы «Бюллетеня ОСЖД» в первом полугодии 2022 года // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 4 (101). С. 138–141. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-20-4-14>.

*Полный текст редакционной статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.  
The full text of the editorial article in English is published in the second part of the issue.*

ми, а также крупными коммерческими банками, Чэндуская железнодорожная корпорация начала реализовывать инновационные проекты по приданию накладной СМГС и накладной ЦИМ/СМГС функции товарораспорядительного документа. В рамках пилотных проектов всего организовано 10 отправок, общая стоимость перевозимых грузов превысила 400 миллионов китайских юаней.

В материале о новом подвижном пассажирском составе для Азербайджанских железных дорог, подготовленном заместителем начальника Департамента пассажирских перевозок ЗАО «АЖД» Х. Мамедовым, начальником Отдела организации пассажирских перевозок Департамента пассажирских перевозок Т. Бадаловой, специалистом Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу, представителем Азербайджанской Республики в Комитете ОСЖД А. Шургановой, отмечается, что 2015 год стал началом новой эры в развитии железнодорожной транспортной структуры Азербайджанской Республики, а ЗАО «Азербайджанские железные дороги» стали поэтапно преобразовываться в самую динамично развивающуюся структуру в регионе. Железнодорожники, ориентируясь на новые достижения, проводят успешные преобразования на железной дороге страны, применяя самые современные технологии. И речь идёт не только о переводе энергоснабжения с постоянного тока на переменный, закупке новых систем сигнализации и связи, оздоровлении дорожного хозяйства, но и о проведении масштабных и планомерных работ по комплексному повышению комфорта для пассажиров.

С учётом социальной политики, проводимой государством, которая нацелена на реформы именно в сфере пассажирских перевозок, ЗАО «Азербайджанские железные дороги» закупило у швейцарской компании Stadler Rail Group современные комфортабельные составы. Таким образом, начаты реформы именно с реализации концепции скоростных пассажирских поездов и улучшения сервиса на железнодорожных вокзалах. К такому подвижному составу относятся и двухэтажные электропоезда KISS, способные развивать скорость до 160 км/ч.

Инновационный комфортабельный электропоезд с двухэтажными вагонами серии E2 – это яркий представитель семейства Stadler KISS, который отличается увеличенными размерами и более широким кузовом, получивший белую окраску с чёрной горизонтальной полосой по бокам между рядами окон и серыми полосами в зоне окон, а двери и окантовка чёрной полосы имеют тёмно-золотистый цвет.

Размещён материал о состоявшейся 25 января 2022 года в Комитете ОСЖД встрече трёх Председателей Комитета ОСЖД, которые занимали этот пост в различное время: Мирослава Антоновича (с 2020 года по наст. вр.), Тадеуша Шозды (1998–2020 гг.) и Анджея Голашевского (1990–1998 гг.).

Руководители различных поколений обсудили вопросы преемственности в деятельности ОСЖД, возможности по поддержанию генеральной линии ОСЖД с целью выполнения стоящих задач в условиях динамически изменяющейся обстановки в мире, в том числе и в условиях ограничений, связанных с пандемией.

Публикуется информационное сообщение Шухрата Каюмходжаева, председателя комиссии ОСЖД по транспортной политике и стратегии развития, о состоявшемся 25–27 января 2022 года 60-м совещании контактной группы ОСЖД–ЕЖДА, темой которого стало «Сотрудничество между ОСЖД и ЕЖДА в области проведения анализа взаимосвязи между железнодорожными системами, входящими и не входящими в ЕС, шириной колеи 1520/1524 мм и 1435 мм».

В ходе совещания были рассмотрены следующие вопросы повестки дня:

- ход работы по актуализации анализа подсистем «Локомотивы и моторвагонный подвижной состав» и «Пассажирские вагоны»;
- ход работы по актуализации анализа подсистемы «Инфраструктура. Путь и путевое хозяйство»;
- обмен соответствующей информацией и практическим опытом с целью координации мер по сохранению и совершенствованию существующей технической и эксплуатационной совместимости и беспрепятственных международных железнодорожных перевозок (включая трансграничное сообщение и безопасность перевозок) и др.

В номере также публикуется информационное сообщение специалиста Комитета ОСЖД по транспортной политике и стратегии развития Аяна Мамытова о состоявшемся 16–18 февраля 2022 года в Комитете ОСЖД совещании экспертов Комиссии ОСЖД по транспортной политике и стратегии развития по теме «Направления стратегического развития железнодорожного транспорта стран-членов ОСЖД».

Повестка дня включала в себя следующие вопросы:

- изучение направлений стратегического развития железнодорожного транспорта стран – членов ОСЖД и подготовка предложений по общим подходам и задачам стратегического развития железнодорожного транспорта;



- изучение опыта и анализ реформ на железнодорожном транспорте стран – членов ОСЖД с публикацией информации на сайте ОСЖД;

- подготовка и издание информационного сборника о проводимых структурных реформах железнодорожного транспорта в странах – членах ОСЖД;

- рассмотрение хода работы контактной группы ОСЖД–ЕЖДА по взаимодействию железнодорожных систем колеи 1520 мм/1435 мм;

- подготовка и согласование проектов Плана и Программы работы Комиссии ОСЖД по транспортной политике и стратегии развития.

Участники совещания заслушали презентации и выступления представителей от Венгрии, Литовской Республики, Российской Федерации о направлениях стратегического развития железнодорожного транспорта в этих странах, а также приняли к сведению информацию Китайской Народной Республики, предоставленную в Комитет ОСЖД, на основании чего провели дискуссию и обменялись опытом и мнениями по вопросам ключевых стратегических направлений развития железнодорожного транспорта в странах – членах ОСЖД.

В информационном сообщении председателя Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу Радована Воналецкого отмечены результаты состоявшегося 15–17 февраля 2022 года очередного совещания Совместной рабочей группы (СРГ) по переработке совместных памяток ОСЖД/МСЖД в проекты международных железнодорожных решений (МЖР/IRS).

В рамках повестки дня были рассмотрены следующие вопросы:

- информация председателя СРГ об итогах выполнения решений совещания Совместной рабочей группы ОСЖД/МСЖД по переработке совместных памяток ОСЖД/МСЖД в проекты международных железнодорожных решений (МЖР/IRS) (21–23 сентября 2021 года);

- ход работ по формированию проекта МЖР/IRS «Перевозка необычных грузов в международном железнодорожном сообщении» с учётом поступивших замечаний железных дорог;

- обсуждение предложений МСЖД по проекту совместной рабочей программы ОСЖД/МСЖД в области разработки совместных МЖР/IRS и другие.

Как отмечается в информационном сообщении Председателя Комиссии ОСЖД по грузовым перевозкам Зубайды Аспаевой от 22–25 марта 2022 года: состоялось совещание по рассмотрению тем «Актуализация Гармонизированной номенклатуры грузов (ГНГ)» и «Ак-

туализация Перечня грузовых станций железных дорог ОСЖД».

Сообщается о проведении 18 февраля 2022 года консультативной встречи представителей Комитета ОСЖД и Секретариата ОТИФ. Открывая встречу, Председатель Комитета ОСЖД Мирослав Антонович и Генеральный секретарь ОТИФ Вольфганг Кюппер поприветствовали участников и выразили мнение, что данные циклические встречи будут продолжены и в будущем, результатом чего будет дальнейшее успешное расширение сотрудничества между ОСЖД и ОТИФ, которое выразится в реальных положительных результатах в работе по унификации и гармонизации транспортного права для обеспечения международных железнодорожных перевозок в евроазиатском сообщении.

В журнале размещён материал о желании Лаоса стать членом ОСЖД, в котором отмечено, что в соответствии с решением Правительства Лаосской Народно-Демократической Республики, принятым 24 марта 2022 года, Министерство общественных работ и транспорта Лаосской Народно-Демократической Республики, в ведении которого находятся Лаосские железные дороги, направило письмо в адрес Комитета ЮСЖД с официальной просьбой принять ЛНДР в члены Организации сотрудничества железных дорог. Письмо подписано министром общественных работ и транспорта ЛНДР господином Виенгсаватом Сифандоне.

В данном письме Министерство общественных работ и транспорта также выразило своё желание стать стороной Соглашения о международном пассажирском сообщении (СМПС) и Соглашения о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС) для обеспечения беспрепятственных перевозок пассажиров и грузов в международном железнодорожном сообщении.

В соответствии с процедурами ОСЖД, вопрос о вступлении ЛНДР будет рассмотрен руководящими органами ОСЖД, а окончательное решение по данному вопросу должно быть принято в рамках сессии Совещания Министров ОСЖД.

Справочно сообщается, что Лаосская Народно-Демократическая Республика расположена в Юго-Восточной Азии на Индокитайском полуострове и граничит с Таиландом, Вьетнамом, Камбоджей, Китаем и Мьянмой. Страна не имеет непосредственного выхода к морю, поэтому развитие железных дорог и международных железнодорожных перевозок имеет для неё первостепенное значение.

Общая протяжённость железнодорожных линий Лаоса, находящихся в эксплуатации, в настоящее время составляет 425,94 км, из которых:

- железная дорога Вьентьян–Ботен – 422,44 км (с шириной колеи 1435 мм);
- Железная дорога Вьентьян–Таналенг – 3,5 км (с шириной колеи 1000 мм).

Как видно, протяжённость железнодорожного участка от пограничной станции Ботен на китайско-лаосской границе до столицы Лаоса Вьентьяна составляет около 422 км, а общая протяжённость линии Куньмин (Китай)–Вьентьян (Лаос) составляет 1035 км. Строительство линии осуществлялось на основе китайских технологий и технических стандартов. Всего по маршруту линии проложено 167 тоннелей и возведено множество мостов и виадуков.

Железная дорога состоит из двух участков: китайского и лаосского. Строительство лаосского участка от приграничного города Ботен до Вьентьяна началось в декабре 2016 года, а строительство китайского участка от города Юйси до приграничного города Мохань – в декабре 2015 года.

При максимальной рабочей скорости в 160 км/ч время всего пути с оформлением на границе занимает около 10 часов. По данному маршруту осуществляется перевозка как пассажиров, так и грузов. Ввод в эксплуатацию новой линии позволит переключить значительную часть экспортных грузов на железную дорогу и снизить транспортные издержки. По предварительным расчётам, на начальном этапе по новой магистрали из Лаоса в Европу через Китай будет ежегодно транспортироваться 300 тыс. контейнеров, а в перспективе грузопоток может возрасти до 1,2–1,8 млн контейнеров в год.

Уже за первые 2 с небольшим месяца с начала эксплуатации железной дороги Китай–Лаос по ней перевезено более 1 млн пассажиров и 500 тыс. тонн грузов, при этом из всего объёма перевезённых грузов 100 тыс. тонн проследовало в международном сообщении.

Ещё в одном информационном сообщении, подготовленном председателем Комитета ОСЖД Мирославом Антоновичем и специалистом Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу Ангелиной Шургановой, отмечается, что главный железнодорожный институт в Польше отметил своё 70-летие. 15 марта 2022 года прошла Юбилейная научная Конференция, посвящённая 70-летию Института железнодорожного транспорта и 25-летию Центра эксплуатации испытательного пути.



Схема новой железнодорожной линии Китай–Лаос.

Один из материалов номера посвящён состоявшейся 5 апреля 2022 года в секретариате КСТП в Москве международной научно-практической конференции «Инновации для устойчивого развития транспорта. Развитие человеческого капитала».

Организаторами данного мероприятия выступили Международный Координационный совет по трансъевразийским перевозкам (КСТП), Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ)) (присоединённое предприятие ОСЖД) и Ассоциация вузов транспорта. В конференции приняли участие более 250 представителей транспортных, логистических, экспедиторских компаний и ассоциаций, образовательных и научно-исследовательских учреждений в области транспорта из Азербайджанской Республики, Республики Беларусь, Китайской Народной Республики, Монголии, Российской Федерации и других стран, эксперты и специалисты из Европейской экономической комиссии ООН (ЕЭК ООН), Экономической и социальной комиссии для Азии и Тихого океана (ЭСКАТО ООН), Организации сотрудничества железных дорог (ОСЖД).

Ещё одно информационное сообщение посвящено состоявшемуся 17 марта 2022 года в городе Варшаве IX Специализированному форуму по безопасности на железнодорожном транспорте-2022, организованному Управлением железнодорожного транспорта Польши совместно с компанией Tor-Audytor.

Среди участников форума были представители компаний – управляющих инфраструктурой, операторов и перевозчиков, специалисты в области технического обслуживания и ремонта, а также в сфере обеспечения безопасности управления железнодорожным движением. ●



*Selected abstracts of D.Sc. and Ph.D. theses submitted  
at Russian universities*

*Текст на английском языке, публикуется  
во второй части данного выпуска.*

*The text in English is published  
in the second part of the issue.*

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-15>

**Акулич В. Ю. Напряжённо-деформированное состояние и устойчивость равновесия цилиндрических оболочек при упругих и упругопластических деформациях, в том числе взаимодействующих с окружающим основанием, с учётом изменения расчётной модели во времени / Автореф. дис... канд. техн. наук. – М.: РУТ, 2021. – 24 с.**

Тонкостенные элементы – оболочки широко применяются в современных строительных конструкциях. Их используют в транспортном, промышленном и гражданском строительстве при сооружении башен, опор, резервуаров, сводов, тоннелей и т.д.

Оболочки имеют ряд преимуществ: они способны эффективно воспринимать приложенную нагрузку за счёт своей геометрической формы, эстетичны и предпочтительны с архитектурной точки зрения.

Особую роль оболочечные элементы играют в подземных сооружениях, где часто используют цилиндрические и другие сводчатые поверхности. При достаточно широком исследовании особенностей работы цилиндрических оболочек остаются вопросы по учёту влияния контактного взаимодействия оболочки и основания, нелинейности происходящих процессов и изменению напряжённо-деформированного состояния (НДС) оболочки в ходе её монтажа, что не позволяет дать реальную оценку НДС и устойчивости таких конструкций от начала строительных работ до их завершения. Это предопределяет актуальность темы исследования по развитию методов расчёта оболочек, взаимодействующих с окружающим основанием, на прочность, устойчивость и жёсткость.

Цель диссертационной работы заключается в разработке и развитии методов расчёта

и анализе напряжённо-деформированного состояния цилиндрических оболочек, взаимодействующих с окружающим основанием, в плоской и пространственной постановках задач.

Научная новизна исследования состоит в оценке НДС и устойчивости цилиндрических оболочек с учётом взаимодействия с окружающим основанием и этапности строительства, а именно:

1. Построены конечно-элементные модели системы «цилиндрическая оболочка–окружающее основание», изменяющиеся во времени, учитывающие зазор между оболочкой и основанием на этапе строительства с помощью одностороннего контактного взаимодействия и физическую нелинейность материалов.

2. Определены размеры пространственного фрагмента системы «цилиндрическая оболочка–окружающее основание», необходимые для получения достоверных результатов расчёта осадки верхней поверхности основания.

3. Разработан и реализован алгоритм оценки НДС и устойчивости системы «цилиндрическая оболочка–окружающее основание».

4. Программа на языке PCL в программном комплексе PATRAN для автоматизации процесса создания твёрдотельной расчётной модели системы «цилиндрическая оболочка–окружающее основание» с возможностью учёта строительного зазора между оболочкой и основанием при одностороннем контактном взаимодействии.

Для решения поставленных в диссертационной работе задач применён метод конечных элементов в перемещениях, включающий построение расчётных моделей рассматриваемых систем, их численные линейный и геометрически, физически и конструктивно нелинейный анализы. С целью учёта развития пластических деформаций материалов использована теория пластического течения с критериями пластичности Мора–Кулона и Друкера–Прагера.

Обобщённые результаты проведённых исследований следующие.

Разработана численная методика учёта строительного зазора между цилиндрической оболочкой и окружающим основанием, основанная на пространственных расчётных моделях с использованием двух способов создания зазора, позволяющих учитывать «по-

терянный объём» грунта от работы тоннелепроходческого механизированного комплекса. Расчётные модели сопоставлены между собой и с известным полуэмпирическим методом. Лучшие результаты показала модель с контактными элементами, аппроксимирующими зазор, в расчётах по определению осадки поверхности массива как в поперечном, так и в продольном направлениях к оси оболочки.

Определены размеры пространственного фрагмента массива, необходимые для получения достоверных результатов расчёта осадки верхней поверхности в поперечном и продольном направлениях к оси оболочки по разработанным расчётным моделям, учитывающим зазор. С учётом полученных результатов расчётов НДС системы можно рекомендовать в практических расчётах по определению осадки поверхности массива в поперечном направлении к оси оболочки принимать расстояние  $L$  от края оболочки до боковых торцов массива (в поперечном направлении), удовлетворяющее условию  $L \geq 5D$ , где  $D$  – диаметр оболочки. При определении осадки поверхности массива в продольном направлении к оси оболочки можно рекомендовать принимать расстояние  $L$  от края оболочки до торцов массива (в продольном направлении), также удовлетворяющее условию  $L \geq 5D$ .

Разработана программа для автоматизации процесса создания твёрдотельной расчётной модели цилиндрической оболочки, окружающего массива и контактных элементов зазора на командном языке PCL, который служит частью системы MSC PATRAN.

Решена практическая задача по определению мульды оседания участка поверхности земли с эксплуатируемыми железнодорожными путями Московской железной дороги, расположенных в пределах зоны влияния строительства проектируемых перегонных тоннелей Калининско-Солнцевской линии Московского метрополитена от станции метро «Раменки» до станции метро «Рассказовка». Полученные результаты сопоставлены с данными геодезического мониторинга.

Разработана и реализована методика, основанная на пространственных расчётных моделях, изменяющихся во времени, позволяющих учесть разное количество этапов возведения цилиндрических оболочек, взаимодействующих с окружающим основанием. Модели учитывают одностороннее контактное взаимодействие, строительный зазор

и физическую нелинейность материалов. Исследовано влияние учёта поэтапного возведения конструкции на НДС цилиндрической оболочки конечных размеров, взаимодействующей с окружающим основанием, с использованием численных методов. Установлено, что величины внутренних усилий в теле цилиндрической оболочки сильно зависят от количества стадий в расчётном случае. Опираясь на полученные результаты, рекомендовано в практических расчётах принимать восемь и более расчётных стадий возведения оболочки.

Установлено, что учёт коэффициента трения в стадийных расчётных случаях значительно снижает величину максимальных напряжений в цилиндрической оболочке. Показано, что введение в расчёт упругопластической модели материала для оболочки также заметно снижает величину максимальных напряжений.

Определены особенности НДС системы, состоящей из двух параллельно расположенных цилиндрических оболочек и окружающего основания, а именно: определено влияние, оказываемое на первую оболочку поэтапным возведением второй близлежащей оболочки. Полученные результаты показали, что данное влияние является в целом незначительным и прирост напряжений для всех рассмотренных колец первой оболочки не превысил 7,8 %, кроме последнего кольца, где увеличение напряжений составило 116,8 %.

Разработаны и реализованы методика и алгоритм получения критических нагрузок и форм потери устойчивости цилиндрической оболочки при различных моделях материалов и условиях контактного взаимодействия с окружающим основанием. Составлены стержневые, плоские и пространственные модели системы «оболочка–основание». Пространственные расчётные схемы построены с учётом и без учёта коэффициента трения между оболочкой и основанием, а также в рамках линейно упругой и упругопластической моделей материалов. Проведён численный анализ системы с целью определения критической нагрузки, при которой конструкция оболочки, взаимодействующей с окружающим основанием, теряет устойчивость равновесия и форм потери устойчивости в линейном и нелинейном расчётных случаях с последующим сравнительным анализом результатов.



Установлено, что в расчётах на устойчивость при больших перемещениях системы нелинейный расчёт путём пошагового приложения нагрузки и итерационной процедуры позволяет отыскивать зоны отсутствия контакта элементов (область отлипания оболочки от основания) и определять изменяющееся во времени положение оболочки, что исключает завышенные значения критической нагрузки, полученные при линейном расчёте, когда перемещения малые. Также определено, что учёт коэффициента трения обеспечивает лучшую совместную работу оболочки и окружающего основания и позволяет получить несколько большие значения критической нагрузки как при линейной упругой модели материала, так и при упругопластической.

Численным анализом пространственной системы «оболочка–основание» в случае неоднородных физико-механических свойств основания вдоль продольной оси цилиндрической оболочки установлено, что потеря устойчивости оболочки происходит на участке более слабого основания.

#### 2.1.9. – Строительная механика.

*Работа выполнена и защищена в Российской государственной академии наук и транспорта.*

**Бунькова Т. Г. Повышение ресурса пары «колесо–рельс» за счёт рационального подбора свойств материалов / Автореф. дис... канд. техн. наук. – СПб.: ПГУПС, 2022. – 18 с.**

На сегодняшний день проблема повышения производительности и снижения себестоимости перевозочного процесса на железнодорожном транспорте решается путём повышения осевой нагрузки и скорости движения подвижного состава. Практика эксплуатации вагонного парка показала повышение интенсивности изнашивания как колёс, так и рельсов, что, несомненно, отражается на безопасности движения поездов по железнодорожному полотну. Экспериментально установлено, что износостойкость трибоэлементов системы «колесо–рельс» в большей мере характеризуется твёрдостью их материалов. Многочисленные опыты по влиянию твёрдости на износ нередко осуществлялись для колеса и рельса обособленно друг от друга. Снизить износ колеса и рельса возможно путём поиска оптимума в соотношении

между твёрдостью колёсной и рельсовой сталей.

Цель исследования – повышение ресурса пары «колесо–рельс» за счёт рационального подбора свойств их материалов.

В теоретических исследованиях использованы основные положения трибологии, теории планирования эксперимента и математического моделирования. Экспериментальная часть работы базируется на методике определения износа колеса и рельса с использованием специально разработанного оборудования, методики определения твёрдости, металлографического анализа. Анализ полученных данных произведён в программных комплексах ANSYS, Statistica, MathCAD.

Научная новизна диссертационной работы:

- построены математические модели зависимости износа от параметров твёрдости трибосистемы «колесо–рельс», действующей осевой нагрузки и скорости движения вагона;
- предложен рациональный диапазон значений твёрдости сталей железнодорожного колеса и рельса, снижающих их износ и повышающих межремонтный пробег колеса;
- установлена зависимость износа колеса от пробега до образования проката браковочного значения при различных значениях твёрдости сталей колеса и рельса;
- определены эквивалентные напряжения и контактные давления колёс с номинальной и минимальной толщинами ободьев при наличии и отсутствии выщербины.

Основные научные и практические результаты диссертационной работы состоят в следующем:

1. Произведён анализ дефектов, исключённых из эксплуатации колёсных пар «стандартных» и «твёрдых» колёс, который позволил выявить неоднозначную зависимость износостойкости и ресурса трибосистемы «колесо–рельс» от твёрдости сталей. С увеличением твёрдости стали колеса снижается процент дефектов – тонкий гребень и остроконечный накат гребня, но увеличивается процент отцепок по ползунам и выщербинам.

2. Предложена экспериментальная методика определения рационального соотношения твёрдости сталей рельса и колеса, учитывающая, переменные осевые нагрузки и скорости движения подвижного состава, которая позволяет спрогнозировать межремонтный период (пробег) колеса грузового вагона, и может

использоваться при проектировании нового подвижного состава и в качестве рекомендаций при производстве железнодорожного пути.

3. Выполнены экспериментальные исследования оценки зависимости износоустойчивости и ресурса пары «колесо–рельс» от соотношения твёрдости их сталей с использованием спроектированной установки.

4. Разработаны математические модели, позволяющие определить наименьший износ элементов в системе «колесо–рельс» и соотношение твёрдости их сталей, учитывающие скорости движения подвижного состава и действующие осевые нагрузки. Выявлено оптимальное соотношение твёрдости сталей колеса и рельса (360/360 НВ) при любых условиях эксплуатации, которое позволит снизить интенсивность изнашивания данных элементов и повысить ресурс и межремонтный пробег колеса грузового вагона в 1,5 раза.

5. Ожидаемый годовой экономический эффект при использовании предложенного соотношения твёрдости сталей колеса и рельса составит 1,37 тыс. руб. на единицу продукции (вагонное колесо).

*05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация.*

*Работа выполнена и защищена в Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I.*

**Ветчанин Е. В. Качественный анализ характерных особенностей поведения гидродинамических и неголономных систем с периодическими управлениями на основе конечномерных моделей / Автореф. дис... док. ф.-м. наук. – Ижевск: УдГУ, 2021. – 38 с.**

В настоящее время, благодаря развитию электроники и схемотехники, большое внимание уделяется разработке различных автономных и управляемых мобильных роботов, передвигающихся в водной (воздушной) среде или по твёрдым поверхностям.

Традиционным средством создания тяговой силы при перемещении в жидкости являются гребные винты, в применении которых были достигнуты существенные успехи, в основном благодаря потребностям оборонно-промышленного комплекса. Автономные необитаемые подводные аппараты, предна-

значенные для исследования океана, как правило, оснащаются гребными винтами.

В последние два десятилетия изучается идея самопродвижения в жидкости твёрдых тел за счёт движения внутренних масс или вращения внутренних роторов. При таком способе передвижения предполагается, что система может вообще не иметь внешних подвижных элементов. Отметим, что данный способ передвижения восходит к работам советского инженера В. Н. Толчина. Современные теоретические исследования данного способа передвижения представлены, в частности, в работе академика РАН В. В. Козлова, работе академика РАН Ф. Л. Черноушко и некоторых зарубежных работах.

Для реализации передвижения механических систем по твёрдым поверхностям традиционно используются колёсные и гусеничные приводы. Однако является интересной идея разработки сферических роботов, для управления движением которых также могут применяться внутренние роторы и подвижные внутренние массы.

С математической точки зрения задача об управлении движением механической системы с помощью внутренних масс и роторов сводится к выбору законов изменения положения центра масс, моментов инерции и гиросtatического момента системы. При этом законы управления, обеспечивающие движение в окрестности траекторий даже простой формы (прямая, дуга окружности), оказываются нетривиальными. С инженерной точки зрения наиболее простыми в реализации являются периодические законы управления. Отметим, что движение внутренних механизмов, в частности, периодическое, может приводить к возникновению параметрического резонанса, различных асимптотически устойчивых или хаотических режимов движения. Таким образом, наряду с задачей построения явных управлений (программных или на основе обратных связей) также возникают задачи исследования устойчивости движения и стабилизации частных движений.

Целью работы является анализ поведения динамических систем с периодическими управлениями на основе конечномерных моделей обыкновенных дифференциальных уравнений; выявление особенностей, характеризующих плоскопараллельное движение в жидкости твёрдого тела с внутренним ротором и периодически изменяющейся цирку-



ляцией, твёрдого тела с подвижной внутренней массой, совершающей периодическое движение относительно тела, твёрдого тела, на которое действуют периодические внешние сила и момент силы, вращения твёрдого тела с неподвижной точкой и периодически изменяющимися моментами инерции, качения по плоскости уравновешенного и неуравновешенного сферических тел с периодически изменяющимися моментами инерции и гиристатическим моментом.

На основе аналитических и численных методов качественного анализа исследовано поведение конечномерных динамических систем с периодическими коэффициентами, описывающих:

- плоскопараллельное движение в жидкости твёрдого тела с внутренним ротором при наличии периодически изменяющейся циркуляции;
- плоскопараллельное движение в жидкости твёрдого тела с периодически движущейся внутренней массой при наличии постоянной циркуляции;
- плоскопараллельное движение в жидкости твёрдого тела под действием внешних периодических силы и момента сил при наличии постоянной циркуляции;
- вращение твёрдого тела с неподвижной точкой и периодически изменяющимися моментами инерции при постоянном гиристатическом моменте;
- качение уравновешенного и неуравновешенного сферического тела по плоскости без проскальзывания и верчения в случае периодически изменяющихся моментов инерции и гиристатического момента.

В предшествующих работах, положенных в основу диссертационного исследования, были достигнуты следующие результаты. Выполнен качественный анализ движения эллиптического профиля в идеальной жидкости под действием периодических колебаний ротора в присутствии постоянной циркуляции. Построено приближённое решение уравнений, описывающих движение кругового профиля в вязкой жидкости под действием периодического управления и периодически изменяющейся циркуляции. Выполнен компьютерный анализ движения эллиптического профиля в вязкой жидкости под действием периодического изменения гиристатического момента и периодически изменяющейся циркуляции.

Выполнен компьютерный анализ движения эллиптического профиля в вязкой жидкости при постоянной циркуляции и под действием колебаний внутренней материальной точки.

Проведён качественный анализ движения уравновешенного кругового профиля в идеальной жидкости под действием внешних периодических силы и момента сил. В работе автором проведено аналитическое и численное исследование движения эллиптического профиля в идеальной и вязкой жидкости под действием внешних периодических силы и момента сил, проанализированы интегрируемые случаи и их периодические возмущения.

Построены точные решения уравнений движения уравновешенного кругового профиля в жидкости под действием внешних периодических силы и момента сил в форме однократных и двукратных рядов. В работе автором исследовано явление асимптотической устойчивости по части переменных в математической модели, описывающей движение уравновешенного кругового профиля в идеальной жидкости под действием периодического внешнего момента сил с нулевой средней величиной.

Исследована динамика тела с неподвижной точкой и периодически изменяющимися моментами инерции и гиристатическим моментом, найдены резонансные частоты и построены диаграммы устойчивости.

Исследовано влияние трения и постоянного внешнего момента сил на динамику тела с неподвижной точкой и периодически изменяющимися моментами инерции.

На основе метода гармонического баланса аналитически построены границы областей неустойчивости для тела с неподвижной точкой и периодически изменяющимися моментами инерции.

Выполнена численная оценка устойчивости плоскопараллельных движений уравновешенного сферического тела с периодически изменяющимися моментами инерции и гиристатическим моментом, катящегося по плоскости без проскальзывания и верчения. Совместно с соавтором выполнен компьютерный анализ движения уравновешенного сферического тела с периодически изменяющимися моментами инерции и гиристатическим моментом, показана не консервативность динамики.

Автором выполнен анализ устойчивости верхнего положения равновесия неуравновешенного сферического тела, движущегося по плоскости без проскальзывания и верчения, за счёт периодически изменяющегося гиросtatического момента, а совместно с соавторами выполнен анализ устойчивости нижнего положения равновесия неуравновешенного сферического тела, движущегося по плоскости без проскальзывания.

*01.02.01 – Теоретическая механика.*

*Работа выполнена на кафедре теоретической физики Удмуртского государственного университета, защищена в Московском авиационном институте (Национальный исследовательский университет) (МАИ).*

**Дунаев А. М. Автоматизированная подсистема диагностирования электрооборудования преобразователей частоты / Автореф. дис... канд. техн. наук. – Иркутск: ИРНИТУ, ИргУПС, 2022. – 16 с.**

Важной задачей в сфере автоматизации и управления технологическими процессами и производствами является обеспечение надёжности функционирования сложного электрооборудования (ЭО), к которому принадлежат силовые полупроводниковые преобразователи частоты (ПЧ), входящие в состав частотно-регулируемых электроприводов общепромышленного электрооборудования. К означенной технике, в частности, относятся асинхронные электроприводы подъёмных кранов, конвейеров, насосов, вентиляторов, металлорежущих станков и промышленных роботов. Кроме того, значительное количество технологического оборудования для производства и ремонта имеет в своём составе современные частотно-регулируемые электроприводы.

Преобразователи частоты являются самым сложным электрооборудованием современного частотно-регулируемого электропривода, поскольку имеют в своём составе силовые полупроводниковые диоды и транзисторы, а также микропроцессорную систему управления ПЧ, включая систему управления всего электропривода.

Решению проблемы сокращения сроков и повышения качества диагностирования означенного сложного оборудования может послужить использование методов техниче-

ской диагностики. Логические алгоритмы методов данного класса представляют собой алгоритмы, использующие аппарат математической логики. Математическая модель объекта диагностирования (ОД) рассматривает ОД как систему связанных между собой функциональных элементов, которые могут находиться в одном из двух состояний: 0 – не в норме, 1 – в норме.

В настоящее время наиболее трудоёмкими составляющими процесса диагностирования являются оценка ситуации и принятие решения, что объясняется постоянно возрастающими объёмами информации, которую необходимо учитывать для повышения объективности оценки ситуации, а также эвристическим характером знаний, позволяющих эксперту получать качественные и эффективные решения поставленных задач. В связи с данными обстоятельствами, возникает необходимость комплексной автоматизации процесса сбора информации и принятия решения, для осуществления которой представляется перспективным использовать интеллектуальные системы, разработанные на основе применения логических методов технической диагностики и методологии экспертных систем (ЭС).

Целью работы является создание автоматизированной подсистемы диагностирования электрооборудования преобразователей частоты, повышающей эффективность процесса поиска неисправностей.

Научная новизна работы состоит в том, что впервые:

1. Предложены логические алгоритмы диагностирования электрооборудования с учётом его технических состояний, отличающиеся от известных алгоритмов половинного деления правилами выбора первой проверки в объекте диагностирования.

2. Разработана процедура построения дерева оптимального логического алгоритма диагностирования электрооборудования.

3. Построено дерево оптимального логического алгоритма диагностирования преобразователей частоты, отличающегося от известных алгоритмов диагностирования минимальным показателем средних затрат диагностирования.

4. Разработана структура базы знаний экспертного комплекса для диагностирования электрооборудования преобразователей частоты, опирающаяся на предложенный опти-



мальный логический алгоритм диагностирования.

Выводы и результаты работы получены с использованием математического аппарата булевой алгебры, методов оптимизации, технологии программирования на языках высокого уровня, технологии разработки экспертных систем.

При выполнении диссертации получены следующие основные результаты:

1. Проанализировано современное состояние методов и систем диагностирования электрооборудования, включая оборудование электроприводов переменного тока.

2. На основании выполненного анализа предложены структура и алгоритмы функционирования автоматизированной подсистемы диагностирования электрооборудования преобразователей частоты.

3. Разработаны новые логические алгоритмы диагностирования электрооборудования, отличающиеся от известных алгоритмов правилами выбора первой проверки и большей эффективностью в применении к преобразователям частоты.

4. Предложена процедура построения оптимального логического алгоритма диагностирования электрооборудования преобразователей частоты. Разработан оптимальный логический алгоритм диагностирования преобразователей частоты, отличающийся минимальными затратами времени.

5. С опорой на оптимальный алгоритм разработана структура базы знаний экспертного комплекса для диагностирования электрооборудования преобразователей частоты.

6. В соответствии с предложенными структурой и алгоритмами функционирования реализована автоматизированная подсистема диагностирования электрооборудования преобразователей частоты, используемых в промышленности. Подсистема позволяет осуществлять диагностирование в режиме реального времени и в режиме консультационной помощи.

7. Апробация реализованной подсистемы показала, что её применение к реальному электрооборудованию преобразователей частоты позволяет обеспечить в среднем трёхкратное сокращение времени диагностирования и наладки.

*2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки).*

*Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» («ИРНИТУ»), защищена в Иркутском государственном университете путей сообщения» («ИрГУПС»).*

**Першин Н. В. Автоматизация управления перевозками сжиженного природного газа морским транспортом / Автореф. дис... канд. техн. наук. – М.: РУТ, 2021. – 23 с.**

Арктическая зона, богатая природным газом, нуждается в создании эффективных транспортно-логистических систем по безопасному, бесперебойному и экономически рациональному вывозу углеводородного сырья. Развитие Северного морского пути, как исторически сложившейся национальной единой транспортной коммуникации Российской Федерации в Арктике, а также возрастающая добыча, переработка и транспортировка природного газа в данном регионе требуют создания автоматизированной системы управления, обеспечивающей экономически эффективную и безопасную перевозку сжиженного природного газа (далее – СПГ), что определяет актуальность данного исследования.

Цель исследования – разработка принципов построения автоматизированной системы управления перевозками СПГ морским транспортом, обеспечивающей безопасную и экономически эффективную доставку природного газа.

Использованы методы системного анализа, теории управления, теории вероятности, исследования операций и математической статистики, теории оптимизации.

Научная новизна диссертации:

- на основании анализа существующих методов планирования и управления перевозками СПГ морским транспортом показана экономическая целесообразность создания автоматизированной системы управления;
- впервые показана и обоснована на базе обработки статистических данных зависимость производительности завода по производству СПГ от метеорологического фактора;
- необходимость разработки и развития автоматизированных систем управления перевозками СПГ морским транспортом впервые обоснована результатами обработки статистических данных объёмов потребления СПГ;

- впервые разработана математическая модель, позволяющая анализировать временные потери при взаимодействии заводов-изготовителей и погрузочных операций танкеров-газовозов;

- для анализа динамики функционирования системы управления перевозками СПГ морским транспортом при наличии возмущений определены вероятности нахождения танкеров-газовозов у завода по производству СПГ в условиях возможности их полной загрузки и отсутствия временных потерь, позволяющие вырабатывать соответствующие управления в автоматизированной системе;

- на основе проведённого анализа движения танкеров-газовозов в стеснённых водах, производительности заводов по производству СПГ, стоимости СПГ, ежесуточной фрахтовой ставки танкеров-газовозов поставлена и решена оптимизационная задача выбора времени подхода танкера-газовоза на вход в стеснённые воды, обеспечивающего минимизацию экономических затрат;

- разработаны и обоснованы принципы построения автоматизированной системы управления перевозками СПГ морским транспортом, включающие алгоритмы планирования и способы реализации выполнения графика движения танкеров-газовозов для вывоза СПГ в режиме реального времени за счёт поступления оперативной информации от объектов перевозочного процесса.

Основные результаты следующие:

1. Проведённый анализ методов планирования и управления перевозками СПГ морским транспортом показал наличие в настоящее время методов разработки логистических схем перевозки СПГ, построения графиков перевозок СПГ, экономически обоснованного способа транспортировки СПГ из районов с суровыми климатическими условиями, способов транспортировки СПГ. Вместе с тем, в мировой практике отсутствуют автоматизированные системы планирования и управления перевозками СПГ морским транспортом, в которых могут быть использованы перечисленные выше разработки. Проведённый анализ позволил сформулировать требования к автоматизированной системе управления.

2. Проведено исследование производительности заводов по производству СПГ (на примере производственного комплекса проекта «Сахалин-2», расположенного в п. Пригородное на острове Сахалин), в ходе

которого установлена зависимость производительности СПГ-завода от метеорологического фактора, что оказывает существенное влияние на процесс транспортировки СПГ и должно, в отличие от известных методов, учитываться при планировании перевозок СПГ и построения графиков движения танкеров-газовозов.

3. Статистическое исследование динамики потребления СПГ в мире показало:

- увеличение количества потребляемой энергии от рассматриваемых СПГ-терминалов с 2014 до 2018 гг. на 22 % и скачок в 2019 г. на 45 %, по сравнению с 2018 г.;

- превалирующее воздействие на ценообразование (импорт и экспорт) СПГ стоимости нефти, по сравнению с конкуренцией источников газа;

- рост потребления СПГ подтвердил актуальность и необходимость создания автоматизированной системы управления перевозками СПГ морским транспортом.

4. Разработана математическая модель «Танкер-газовоз – Завод по производству сжиженного природного газа», базирующаяся на теории марковских процессов, позволяющая определить вероятность нахождения танкера-газовоза в точке загрузки сырьём при различных погодных условиях и вероятность наличия СПГ в резервуарах завода-изготовителя.

5. Исследование динамики функционирования системы управления перевозками СПГ морским транспортом показало, что:

- вероятность наличия СПГ на заводе по производству СПГ при работе трёх технологических линий и нахождения танкера-газовоза у завода по производству СПГ в летнее время выше соответствующей вероятности на 29 %, по отношению к условиям зимы;

- увеличение числа технологических линий завода по производству СПГ от одной до двух приводит к уменьшению вероятности простоя танкера-газовоза на 29 % летом и на 35 % зимой;

- увеличение числа технологических линий завода по производству СПГ от одной до трёх приводит к уменьшению вероятности простоя танкера-газовоза на 43 % летом и на 48 % зимой, по отношению к одной технологической линии.

6. Проведён анализ движения танкеров-газовозов в стеснённых водах при различных



гидрометеорологических условиях, на основании которого поставлена и решена задача выбора времени подхода танкера-газовоза на вход в стеснённые воды по критерию минимума экономических затрат методом оптимума-номинала.

7. Разработаны принципы построения, структура, алгоритмы функционирования автоматизированной системы управления перевозками сжиженного природного газа морским транспортом, позволяющие снижать убытки при транспортировке СПГ из замерзающих морей Арктической зоны путём исключения простоя танкеров-газовозов при погрузке и большого по времени хранения СПГ в резервуарах из-за его ежесуточной испаряемости.

8. Эффективность результатов работы подтверждается их использованием в компаниях Группы «Газпром» и включением в учеб-

ный процесс университетов Российской Федерации (ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина», ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»).

В качестве рекомендаций и перспектив дальнейшей разработки темы диссертации предлагается решение оптимизационной задачи для полного цикла движения танкера-газовоза от СПГ-завода до СПГ-терминала с разработкой соответствующей автоматизированной системы управления.

*2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.*

*Работа выполнена и защищена в Российском университете транспорта.* ●

## НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ

*Список на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.*

*The list of titles in English is published in the second part of the issue.*

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-16>

Ашихмин С. А., Ашихмина Е. А. Техническое обслуживание автомобилей: Учебник. – М.: Академия, 2022. – 252 с. ISBN 978-5-0054-0267-7.

Варис В. С. Устройство автомобиля: Учебник. – 2-е изд. – Саратов: Профобразование, 2022. – 425 с. ISBN 978-5-4488-1367-2.

Герамы В. Д., Колик А. В. Городская логистика. Грузовые перевозки: Учебник для вузов. – М.: Юрайт, 2022. – 342 с. ISBN 978-5-534-15024.

Еремеева Л. Э. Интермодальные и мультимодальные перевозки: Учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Инфра-М, 2022. – 221 с. ISBN 978-5-16-014609-6 (print).

Иванов А. М., Солнцев А. Н., Гаевский В. В. [и др.]. Основы конструкции современного автомобиля: Учебник. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Инжиниринговый научно-образовательный центр «СМАРТ», 2022. – 344 с. ISBN 978-5-9500975-1-5.

Козлова Л. Н. Немецкий язык: эксплуатация автомобильного транспорта и безопасность движения: Учеб. пособие. – Брянск: БГТУ, 2022. ISBN 978-5-907570-30-6.

Креж В. Г., Рудаченко А. В., Шмурыгин В. А. Машины и оборудование газонефтепроводов: Учеб. пособие. – 2-е изд. – Саратов: Профобразование, 2022. – 432 с. ISBN 978-5-4488-1346-7.

Лаврова А. Ю. Проектирование участка автомобильной дороги: Учебно-методическое пособие / Под общ. ред. О. А. Бендера, Д. А. Разуваева. – Новосибирск: Изд-во Сибирского гос. ун-та путей сообщ., 2022. – 92 с. ISBN 978-5-00148-267-3.

Малахов Д. С. За рулём без страха и сомнений: узнайте, как избавиться от страха и сомнений при вождении автомобиля, как обрести 100 проц. уверенность за рулём, не нахватать кучу штрафов и не попасть в аварию, полагаясь только на себя. – М.: Перо, 2022. – 86 с. ISBN 978-5-00204-207-4.

Модестова С. А., Лягова А. А., Пшенин В. В. Эксплуатация насосных и компрессорных станций: Учеб. пособие. – СПб.: Лема, 2022. – 92 с. ISBN 978-5-00105-712-3.

Новиков Н. Ю. Основы теории информационно-измерительных и управляющих систем. – М.: Физматлит, 2022. – 559 с. ISBN 978-5-9221-1908-5.

Петухов М. Ю. Эксплуатационные свойства автомобилей. Тяговоскоростные свойства и топливная экономичность. – Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2022. – 60 с. ISBN 978-5-398-02755-6.

Синельников А. Ф. Текущий ремонт грузовых автомобилей: Учебник. – М.: Академия, 2022. – 301 с. ISBN 978-5-0054-0227-1.

Тарасик В. П. Теория движения автомобиля: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2022. – 576 с. ISBN 978-5-9775-6817-3.

Ушаков Л. С., Антипов В. В., Божанов А. А. [и др.]. Технологическая машина для проведения горных работ и тоннелей: обоснование концепции: Монография. – Орёл: ОГУ им. И. С. Тургенева, 2022. – 103 с. ISBN 978-5-9929-1164-0.

Харченко С. Г., Жижин Н. К., Кучер Д. Е. Риски и проблемы развития сетей 5G в России: Монография / Под ред. д.ф.-м.н. С. Г. Харченко. – М.: МАКС Пресс, 2022. – 102 с. ISBN 978-5-317-06740-3.

Составила Н. ОЛЕЙНИК ●



## «Аэроэкспресс» в Северном терминальном комплексе аэропорта Шереметьево

**В** Международном аэропорту Шереметьево открылся новый пассажирский терминал «Аэроэкспресса», а также запущено движение поездов от Белорусского вокзала до Северного терминального комплекса аэропорта (терминалы В и С). В мероприятии приняли участие министр транспорта Виталий Савельев, генеральный директор – председатель правления ОАО «РЖД» Олег Белозёров, генеральный директор АО «МАШ» Михаил Василенко и генеральный директор ООО «Аэроэкспресс» Андрей Акимов.

Как подчеркнул Виталий Савельев, запуск движения поездов в Северный терминальный комплекс особенно актуален. Именно в терминалах В и С обслуживаются все авиарейсы. Терминал В – совершенно новый, он был открыт в 2018 году, а терминал С – в 2019 году после масштабной реконструкции. И уже сегодня с новыми терминалами организовано прямое пассажирское железнодоро-

рожное сообщение. «Ранее поезда «Аэроэкспресс» прибывали только в Южный терминальный комплекс, где расположены терминалы D, E и F. Чтобы добраться до терминалов В и С, нужно было пройти по пешеходным галереям, спуститься и воспользоваться подземным межтерминальным шаттлом – с чемоданами такой путь не совсем удобен. Теперь пассажиры могут напрямую из Москвы без пересадок добраться до терминалов В и С на комфортабельных двухэтажных поездах», – добавил он.

«Сегодня знаковый день в целом для транспортной системы и для железных дорог, потому что запускается новый терминал, новая ветка сюда, в аэропорт Шереметьево. Московский транспортный узел является одним из самых лучших по комфортности и интермодальности в мире. Каждый элемент имеет своё значение, связан с другим, при этом перевозки проводятся и внутри Москвы, и в Московской области. В том числе важно



быстро, удобно и комфортно добраться до аэропорта», – сказал Олег Белозёров.

Сам железнодорожный терминал – это современный двухэтажный пассажирский комплекс, построенный с применением последних транспортных технологий. В нём создана абсолютно безбарьерная среда. Путь от поезда до терминалов займёт не более 5 минут по комфортной пешеходной галерее, которая ведёт прямо на этаж вылета. Таким образом, теперь пассажиры могут сесть в «Аэроэкспресс» в Москве и в буквальном смысле выйти из поезда прямо к стойкам регистрации точно в срок, без стресса и пробок.

Все «Аэроэкспрессы» на Шереметьевском направлении теперь курсируют по обновлённому маршруту. Прежняя станция в ЮТК стала промежуточной остановкой – после неё состав следует в СТК. Пассажиры могут выйти в Южном терминальном комплексе или проследовать в Северный.

Интервал движения при этом не изменился – поезда отправляются каждые 30–40 минут как в сторону аэропорта из Москвы, так и из аэропорта в столицу.

«Аэроэкспресс» уже 17 лет помогает москвичам и гостям столицы удобно и спокойно добираться до стоек регистрации, а также первым встречает гостей Москвы при выходе из аэропортов, напрямую способствует разгрузке автомагистралей и улучшению автомобильного трафика. За всё время работы услугами «Аэроэкспресса» воспользовались более 160 млн пассажиров. Сегодня маршруты «Аэроэкспресса» удобно интегрированы с общественным транспортом – пассажирам доступны пересадки на метро, МЦК, МЦД и пригородные направления, поэтому они могут выбрать самый удобный и быстрый для себя маршрут.

В 2021 году аэропорт Шереметьево обслужил более 30 млн пассажиров, при этом каждый девятый пассажир добирался в Шереметьево или обратно на «Аэроэкспрессе». По предварительным прогнозам, новым терминалом ежемесячно будут пользоваться более 200 тысяч пассажиров.

**По материалам пресс-центра  
Министерства транспорта  
Российской Федерации:  
[https://mintrans.gov.ru/press-center/  
news/10271](https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10271) ●**



## Aeroexpress in the Northern Terminal Complex of Sheremetyevo Airport

**A** new Aeroexpress passenger terminal has been opened at Sheremetyevo International Airport, and trains have been launched from the Belorussky railway station to the airport's Northern terminal complex (terminals B and C). The event has been attended by Minister of Transport Vitaly Savelyev, General Director – Chairman of the Board of JSC Russian Railways Oleg Belozerov, General Director of JSC SIA Mikhail Vasilenko and General Director of LLC Aeroexpress Andrey Akimov.

As Vitaly Savelyev emphasised, the launch of trains to the Northern Terminal Complex is now especially relevant. It is in terminals B and C that all flights are served today. Terminal B is brand new; it was opened in 2018, and terminal C was reopened in 2019 after a major renovation. And today direct passenger railway service had been organised at the new terminals.

«Previously, Aeroexpress trains arrived only at the South Terminal Complex, where terminals D, E and F are located. To get to terminals B and C, you had to go through the pedestrian galleries, go down and use the underground inter-terminal shuttle – with suitcases this way is not quite convenient. Now passengers can get directly from Moscow without transfers to terminals B and C on comfortable double-decker trains», he added.

«Today is a significant day in general for the transport system and for railways since a new terminal is being launched, a new line is now here to Sheremetyevo Airport. Moscow transport hub is one of the best in terms of comfort and intermodality in the world. Each element has its own meaning, is connected with the other, while transportation is carried out both within Moscow and in Moscow region. It is also important to quickly, conveniently and



comfortably get to the airport», said Oleg Belozеров.

The railway terminal itself is a modern two-story passenger complex built using the latest transport trends and technology. It has an absolutely barrier-free environment. The way from the train to the terminals will take no more than 5 minutes along a comfortable pedestrian gallery that leads directly to the departure floor. Thus, now passengers can board the Aeroexpress in Moscow and literally get off the train right to the check-in desks on time, without stress and traffic jams.

All Aeroexpress trains towards Sheremetyevo now run along the updated route. The former station in the South Terminal Complex has become an intermediate stop – after it the train goes to the North Terminal Complex. Passengers can get off at the South Terminal Complex or proceed to the North Terminal Complex.

At the same time, the interval between trains has not changed – trains depart every 30–40 minutes both towards the airport from Moscow and from the airport to the capital.

For 17 years, Aeroexpress has been helping Muscovites and guests of the capital get to check-in counters conveniently and calmly and is also the first to meet Moscow guests at the exit from airports, directly contributing to unloading highways and improving car traffic. More than 160 million passengers have used Aeroexpress services over the entire period of operation. Today, Aeroexpress routes are conveniently integrated with public transport – passengers have access to transfers to the metro, MCC, MCD and suburban destinations, so they can choose the most convenient and fastest route for themselves.

In 2021, Sheremetyevo Airport served over 30 million passengers, with every 9<sup>th</sup> passenger travelling to or from Sheremetyevo with Aeroexpress. According to preliminary forecasts, more than 200 000 passengers will use the new terminal every month.

**Compiled based on the news  
of the press centre  
of the Ministry of Transport  
of the Russian Federation:  
[https://mintrans.gov.ru/press-  
center/news/10271](https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10271) ●**

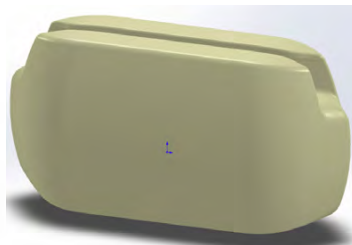


## AERODYNAMICS

Problems of aerodynamics refer not only to civil aviation but to other modes like rail, road, sea and river transport, as well as to development of new vehicles and transportation systems.

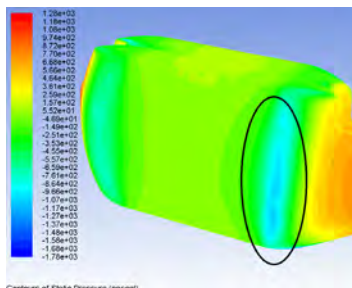
## RAILWAYS 152

Interaction of high-speed train with air environment and infrastructure facilities. Numerical methods, digital modelling, simulation, and testing. Choice of optimal methods.



## NEW VEHICLES 163

Development of projects based on string technologies and of relevant vehicles, called unibuses, implies analysis of their aerodynamic features. The goal of the described process of optimisation of their design based on simulated aerodynamic performance is to reduce environmental impact and to increase the profit potential of transportation.





# Development of a Numerical Model of the Aerodynamic Interaction of a High-Speed Train, Air Environment and Infrastructure Facilities



**Nikita A. Labutin**

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia.

✉ [n\\_labutin@outlook.com](mailto:n_labutin@outlook.com).

Nikita A. LABUTIN

## ABSTRACT

The design of high-speed railway lines (HSR) requires mandatory consideration of loads from the aerodynamic interaction of a moving train, the air environment and infrastructure facilities, acting both on structures and facilities, and on the train itself. Software systems of computational fluid dynamics are most expedient to determine the nature and intensity of the load.

To find the optimal approach to modelling the processes of aerodynamic interaction between a moving high-speed train and the air environment, as well as to assess the degree of validity of the simulation, a series of calculations were performed in the ANSYS CFX software environment using various approaches to the construction of calculation models (the sliding grid method and the

immersed solid method). An analysis of the results of the performed calculations makes it possible to determine the area of rational application of the considered approaches in the development of computational models of aerodynamic interaction.

To verify the developed calculation models, experimental measurements of the aerodynamic impact of Sapsan high-speed electric train on the air environment were performed. Also, the developed models were verified based on the results of similar international experimental studies. Comparison of the results of numerical simulation and experimental measurements allows us to conclude that the developed computational models are sufficiently valid and can be further applied.

**Keywords:** rail transport, high-speed railways, high-speed train, aerodynamics, aerodynamic interaction, numerical modelling, simulation.

*For citation:* Labutin, N. A. Development of a Numerical Model of the Aerodynamic Interaction of a High-Speed Train, Air Environment and Infrastructure Facilities. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 4 (101), pp. 152–162. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-1>.

*The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.*  
*Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.*

## INTRODUCTION

High-speed rail (HSR) places extremely high demands on reliability, durability and safety of all components of the infrastructure. Some of these requirements are determined by the need to consider when designing a number of special loads and impacts, the consideration of which is not mandatory when designing conventional (not high-speed) railways. One of these loads is the load from the aerodynamic interaction of a moving high-speed train, the air environment and infrastructure [1; 2]. Of particular importance is the study of the aerodynamic impact exerted by high-speed rolling stock on infrastructure facilities, people, other rolling stock, etc. in the context of design of the St. Petersburg–Moscow high-speed rail (HSR-1) with an operating speed of up to 360 km/h.

## RESULTS

### Aerodynamic Interaction of a Moving High-Speed Train, Air Environment and Infrastructure Facilities

The movement of a high-speed train is accompanied by local perturbations of the air environment that cause formation of zones of increased (excessive) and reduced (rarefied) pressure along the train. The formation of these zones is caused by compaction and decompression of air masses in the immediate vicinity of the moving train. A sharp change in areas of high and low pressure forms an alternating travelling air wave moving at a speed equal to the speed of the train. The most pronounced air waves are located at the head and end of trains. Also, similar waves, but with lower amplitudes of pressure values, are located at the inter-car gaps and at the places of coupling of articulated trains [3–5]. The principal graph of pressure change along a single high-speed electric train is shown in Pic. 1.

Moving air waves flow around structures and facilities located in the vicinity of the axis of the track, which leads to different pressure values along their contour at a time. The resulting pressure difference forms the total aerodynamic force and the total aerodynamic moment acting on the body under consideration [6]. At the same time, when air waves are flowing around various types of structures, there is a possibility of local eddies that can affect the dynamic operation of the structure under consideration and wind stability of a moving train.

As a rule, the most reliable way to study various aerodynamic phenomena is physical modelling in wind tunnels and installations (Pic. 2).

However, since physical modelling is extremely labour-intensive, and some of the problems under study (for example, modelling flows around static bodies caused by a moving body) are unrealisable in wind tunnels [7], and their modelling using specialised installations is rather laborious, it is necessary to resort to numerical simulation methods. In specialised software systems intended for computational fluid dynamics (CFD).

### Design Model Development

Numerical simulation in software systems is a relatively young method for studying aerodynamics, which has become widespread thanks to a significant increase in computing power. The numerical simulation method is based on solving a system of air medium continuity equations, equations of motion and energy conservation, supplemented by equations of air flow turbulence models.

To solve the system of equations, software systems use the finite volume method, which consists in dividing the computational domain



*Pic. 1. Principal graph of the change in the magnitude of air pressure along a high-speed train [developed by the author].*



a)



b)

Pic. 2. Tests of train models in wind tunnels: a – electric train built on the Siemens Velaro platform, b – electric train built on the Alstom AGV platform [https://www.dlr.de/next/desktopdefault.aspx/tabid-6710/11006\_read-25184/, https://www.techinsider.ru/technologies/10632-protiv-vetra-aerodinamika].

into non-intersecting control volumes (Pic. 3) [8–9].

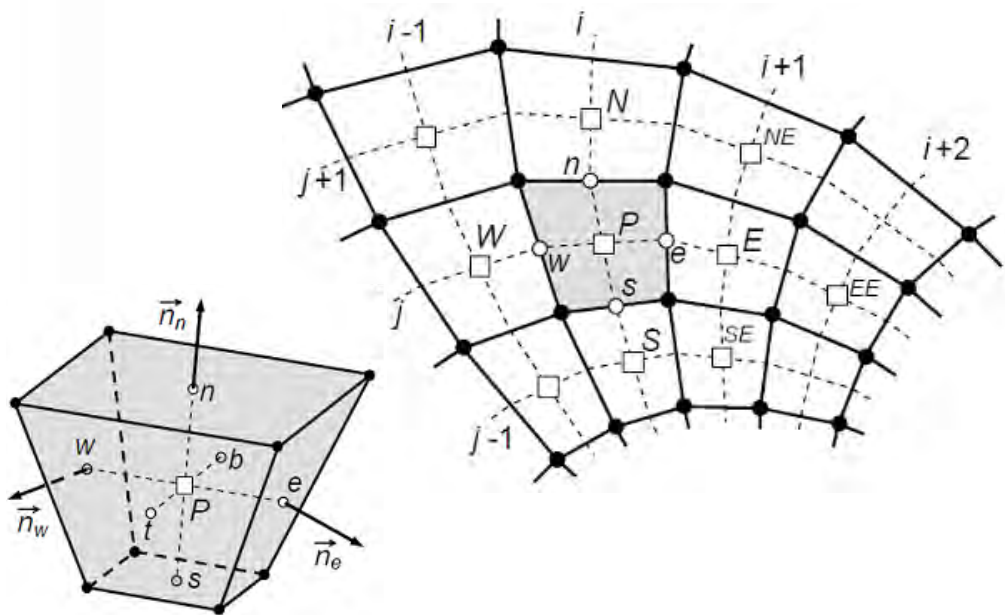
The procedure for solving CFD problems can be divided into three main stages: the preparatory stage, the main stage, and the post-processing stage. At the preparatory stage, a three-dimensional geometric model of the problem under consideration is developed with its subsequent discretisation (building a computational grid). At the main stage, the parameters of the computational experiment are set (turbulence model, boundary and initial conditions, time discretisation) followed by computation.

The post-processing stage is devoted to construction of distribution patterns, graphs of pressures, velocities, kinetic energy and other required characteristics of the air environment.

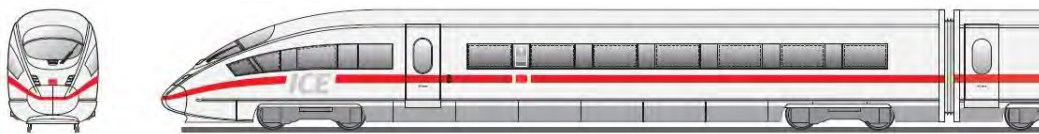
The ANSYS CFX software package was chosen as the software that allows to perform a full range of works on numerical modelling of the aerodynamic interaction of a high-speed train, the air environment and infrastructure facilities, as well as aerodynamic calculations both in stationary and non-stationary settings.

### Development of a Geometric Model of a High Speed Train

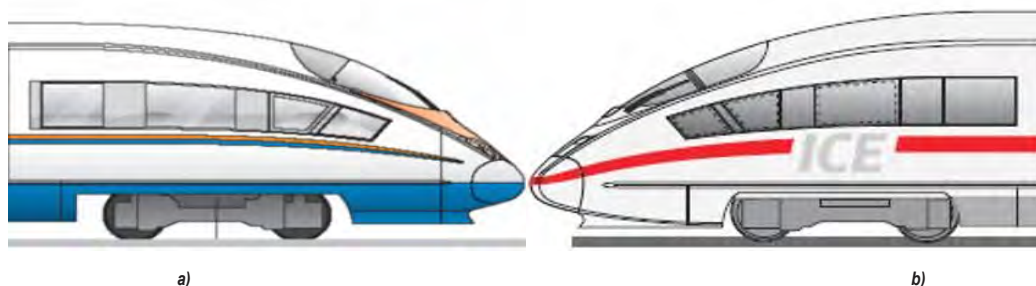
High-speed electric trains based on the Siemens Velaro platform were accepted as the



Pic. 3. Grid of control volumes with reference to the centre of the cells [9]  
(□ is the centre of the volume, ● is the grid node, ○ is the middle of the face).



Pic. 4. High-speed electric train based on the Siemens Velaro platform [<https://german160.wordpress.com/author/mytrainmaster/page/7/>].



Pic. 5. Head fairing shape of a high-speed train: a – ICE3, b – EVS1/2 «Sapsan» [<https://german160.wordpress.com/author/mytrainmaster/page/7/>, <http://emupages.ru/history-technology-highspeed-sapsan.htm>; refined by the author].

calculated rolling stock. To date, trains built on this platform are operated on speed and high-speed railways in Germany (ICE-3), Spain (AVE S-103), China (CRH 3) and Russia (EVS 1, EVS 2).

One of the fundamental factors for choosing the calculated train was the operation of the high-speed train EVS 1/2 Sapsan on the existing network of Russian Railways. A significant difference between the Sapsan and other single-platform trains is the change in the shape of the head fairing (Pic. 5), due to Russian requirements for the rolling stock in operation.

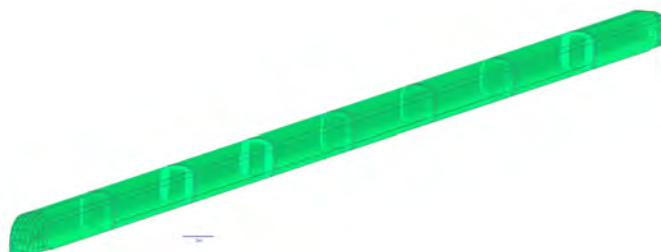
The composition of the calculated train is assumed to be assembled according to the eight-car scheme (two head and six intermediate cars).

The development of a three-dimensional geometric model of a high-speed train was carried out in AutoCAD environment with subsequent refinement and preparation with the SpaceClaim software. To optimise the computational grid and reduce the computation time, several simplifications

were made in the geometric model, which have a local effect and do not significantly affect the distribution of air masses around the train cars. The developed geometric model is shown in Pic. 6.

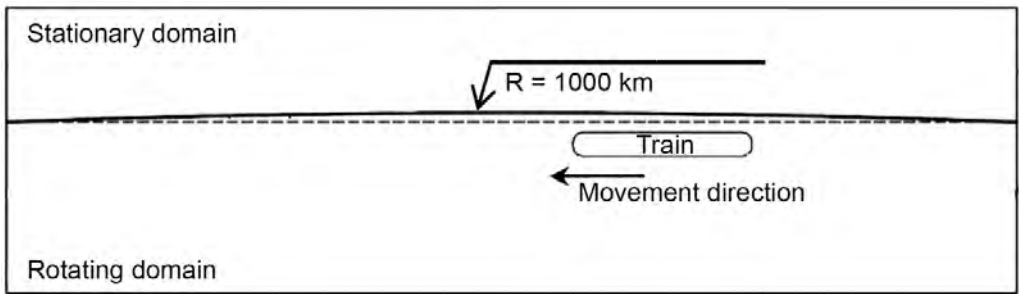
#### Development of a Model Based on the Sliding Grid Method

When solving the problem of aerodynamic interaction of a moving high-speed train, the air environment and infrastructure facilities, the most convenient and correct modelling method is to use the sliding mesh (grid) method [10–12]. When using this method, the calculation model is divided into stationary and non-stationary components. The non-stationary component is the volume of air, from which the volume equivalent to the train model is subtracted, with a given direction and speed of movement. The stationary component is a fragment of the air environment with the considered infrastructure objects located in it, in which a «tunnel» is cut out for movement of the non-stationary component of the model in it. The



Pic. 6. The developed geometric model of the Sapsan high-speed electric train [developed by the author].





Pic. 7. Schematic diagram of the model based on the «rotor-stator» model [developed by the author].

interaction of the stationary and non-stationary parts of the model is carried out through the grid interface. The most accurate operation of the grid interface is achieved with rotational relative motion of the computational domains (rotor-stator model). Thus, when specifying movement of the non-stationary part of the calculation model along a circle of large radius (more than 1000 km), its linear movement can be simulated (Pic. 7).

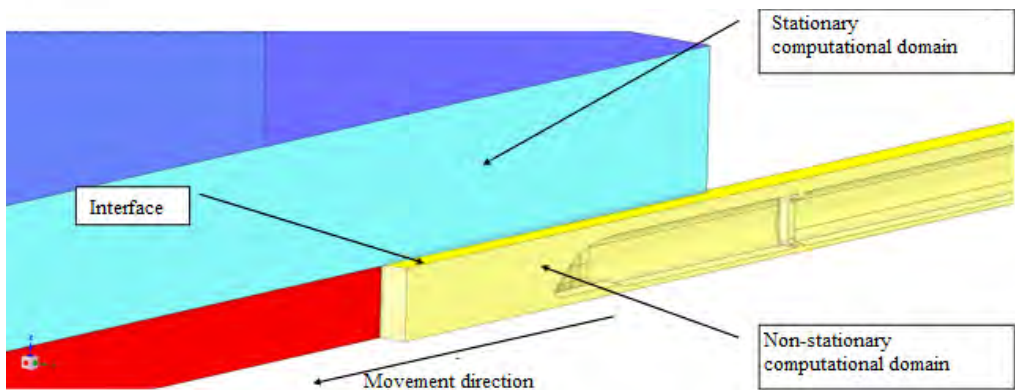
This approach requires an extremely precise development of the geometry of the computational domain due to the curvature of the surfaces of the contact interfaces. Also, to determine the aerodynamic force and moment acting on the train, it is necessary to set an individual dynamic coordinate system for each car of the calculated train. Considering the above factors, it was decided to resort to setting the movement of the non-stationary part of the model not as of rotational movement along an infinitely large radius, but as of translational motion while setting it through commands in the CFX CCL command language. The schematic diagram of the developed calculation model is shown in Pic. 8.

The main advantage of using this method is the possibility of working out the boundary layer

both around the structures and facilities under consideration, and directly around the train. Setting the near-wall layers close to the cars allows getting the correct pressure gradient on the walls of the cars and, as a result, the magnitude of the force and moment acting on them, which makes it possible to most correctly solve the problems of aerodynamic stability of a high-speed train moving over bridges (or embankments) under side wind and the problems of interaction of the train and superstructures when the train drives below (for example, through lattice truss bridges).

For the problem under consideration, a universal SST model, which is most often used in problems of architectural and construction aerodynamics and rolling stock aerodynamics was chosen as a turbulence model describing the disorder of the movement of air masses, since SST model demonstrates high accuracy and reliability both in near-wall flows and at distances from the walls [13–16].

When developing the model, movement of the train along the earth's surface was simulated. The accepted level of the earth's surface corresponds to the mark of the rail head (1,1 m from the level of



Pic. 8. Scheme of the calculation model based on the sliding grid method [compiled by the author].

the automatic coupler/mask of the head fairing for the Sapsan electric train). Since in the problem under consideration the values of extreme pressures of the head and tail air waves located above the level of the head fairing are decisive, simulation of the superstructure and track embankment was not performed.

For the upper and side faces of the calculated air volume, «opening» boundary conditions were set, which ensure the possibility of reverse flows on the surface. For the lower face of the air volume (earth's surface) boundary conditions «free slip wall» are set, for the surface of the train the boundary conditions «no slip wall» is assumed.

The Reynolds number for the developed models ranges from  $12,3 \cdot 10^6$  (at a train speed of 200 km/h) to  $15,4 \cdot 10^6$  (at a speed of 250 km/h). The number of finite volumes of the computational model was 1,2 million for the stationary region and 7,5 for the mobile region. The size of the grid elements on the surface of the train did not exceed 0,01 m. The size of the grid elements of the air array varied from 0,05 to 0,5 m with thickening in the region of the moving domain. The boundary layer near the train surfaces was not studied in detail since its setting is not decisive for the calculation of aerodynamic loads on the surrounding infrastructure.

The problem was considered in a non-stationary formulation in the range of physical time 6...10 s. The time step was 0,005 s. The Courant number  $C_o$  did not exceed 2.

### **Development of a Model Based on the Immersed Solid Method**

The sliding grid model provides the most complete and reliable picture of the interaction of high-speed rolling stock, both in terms of the impact on the infrastructure and the impact on the rolling stock. However, the application of the sliding grid method is quite costly in terms of computational resources and time for solving the problem, since at each time step it is required to rebuild the computational grid.

At the same time, when determining the magnitude of the aerodynamic impact only on infrastructure facilities, setting and modelling the near-wall layer around a high-speed train is not mandatory. This assumption allows us to apply the immersed solid model, in which the train model, represented by a solid body, is placed in the calculated air volume with set direction and speed of movement in this volume. The principle

of operation of this model is to form a calculation grid for the air area and the calculation train with their further overlap. Next, the solver at each time step determines the overlapping nodes of the air domain and sets the air speed in them to be equal to the speed of the rigid body.

The total number of elements of the calculation model is 24,1 million cells. The size of the cells of the computational domain is in the range from 0,5 m to 0,01 m (concentration towards the area of the moving body). The maximum size of a train element is 0,01 m. The Reynolds numbers and other boundary conditions of the calculated air volume and the parameters of the non-stationary setting (physical time, time step, etc.) are determined similarly to the problem using the sliding grid method. The Courant number did not exceed 3.

### **Experimental Verification of the Developed Calculation Models**

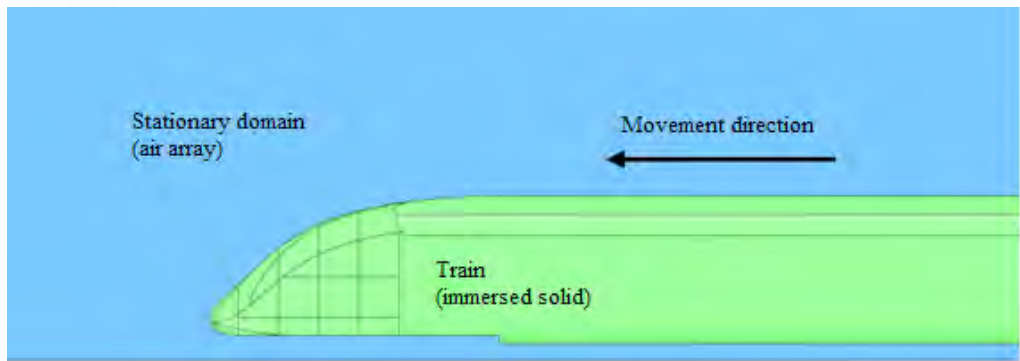
To assess the validity rate of the results obtained using the developed calculation models, they were verified based on the results of experimental measurements of the aerodynamic impact on the air environment of the Sapsan high-speed electric train [17].

Experimental measurements were made on separate sections of the St. Petersburg–Moscow railway line with set speed limits from 200 to 250 km/h. The choice of measurement sites was carried out jointly with the employees of Bridge Test Station No. 1 of Oktyabrskaya Railway, preceded by an analysis of the currently set speeds and of the presence of possible places where the train had to change speed (dangerous places, stations, curves, works on the track) in the sections under consideration. Thus, the places determined for measurements were located in the areas of uniform motion. Additionally, the speed of trains was considered according to the results of the graphs of the performed measurements (according to the distance between the head and tail air waves). The deviation of the actual speed from the established one on the site was no more than 4 km/h (downward).

The measurements were carried out by high-frequency membrane overpressure sensors installed in the immediate vicinity of the track axis. The measurement process is shown in Pic. 10.

The measurement results are graphs of excess pressure changes at a fixed point during the





*Pic. 9. Scheme of the calculation model based on the immersed solid method [compiled by the author].*

passage of a high-speed train. An example of a graph is shown in Pic. 11.

By processing the measurement results, distribution patterns of extreme values of overpressure and rarefaction pressure were obtained for speeds from 200 to 250 km/h, depending on the distance from the track axis and the height above the level of the rail head. An example of the distribution of excess pressure during movement of Sapsan electric train at a speed of 250 km/h is shown in Pic. 12.

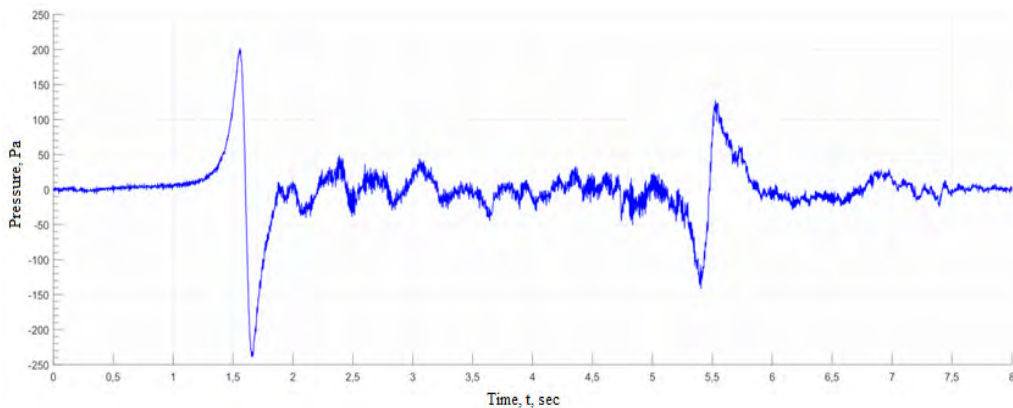
To verify the developed calculation models, the train movement conditions and measurement points were set that corresponded to the speed of motion and the locations of the sensors during full-scale measurements. The time step was set

to match the measurement frequency of the sensors (1 kHz). Thus, train passages at speeds of 200, 220 and 250 km/h were simulated with pressure measurements at fixed points. Comparative patterns of pressure distribution at the points corresponding to the location of the head of the train for two calculation models are shown in Pics. 13–15.

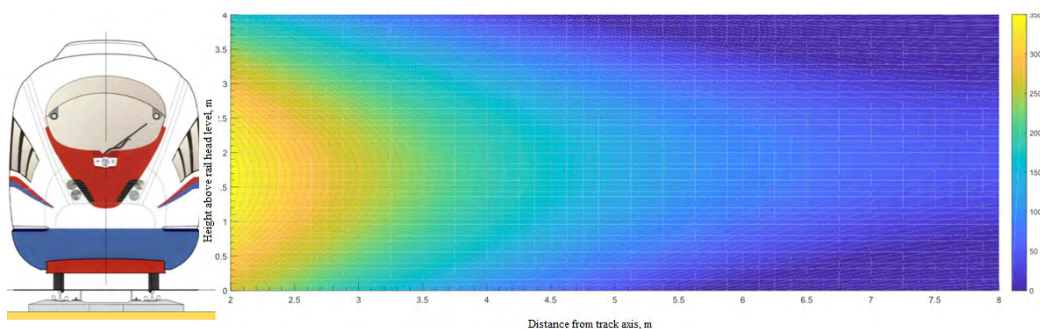
The resulting images demonstrate a qualitatively similar pattern of pressure distribution around the train, but due to more detailed grid discretisation and elaboration of the boundary layer around the train, the model using the sliding grid method demonstrates a more detailed and accurate pressure distribution near the car surface, which directly affects the



*Pic. 10. The process of measuring the aerodynamic impact from the Sapsan high-speed electric train [image made by the author].*



**Pic. 11.** Graph of the change in the pressure value during movement of the Sapsan high-speed electric train at a speed of 250 km/h [performed by the author, [17]].



**Pic. 12.** Distribution of the overpressure value during movement of the Sapsan high-speed electric train at a speed of 250 km/h [performed by the author].

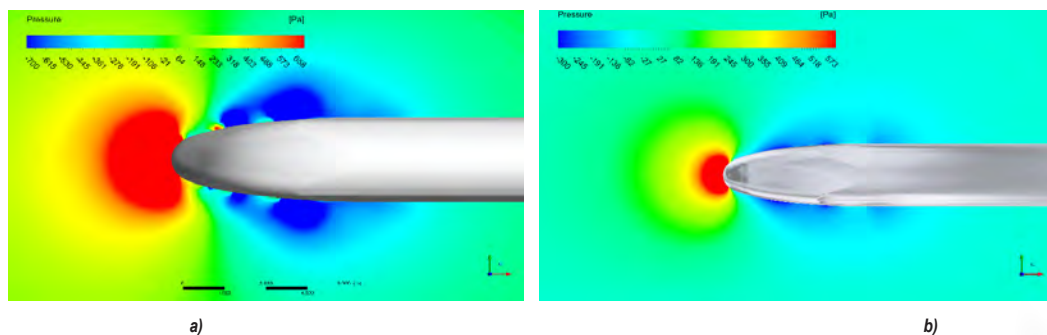
identification of the values of aerodynamic forces acting on the train.

The results of comparing the experimental and calculated values of extreme pressures at the measurement points are shown in Pic. 16 and Table 1.

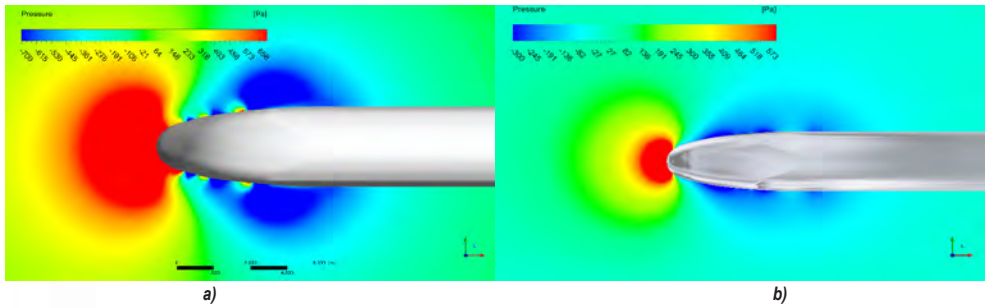
The spread of the discrepancy is determined by the local conditions of the terrain and the environment

at the sites of experimental measurements (the presence in the immediate vicinity of the places of measurements of office premises, power supply facilities and devices, station and operational facilities). The maximum discrepancy is 15 %, the average discrepancy does not exceed 10 %.

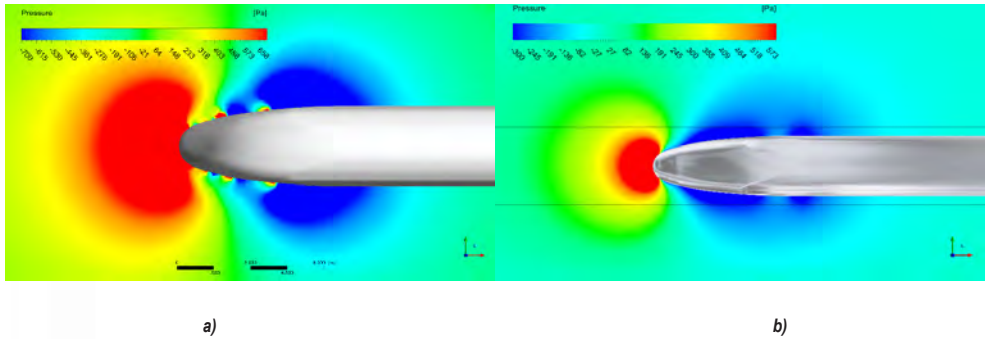
Also, to verify the developed calculation models in a wider range of speeds, the results



**Pic. 13.** Pressure distribution near the first car of the design train at a height of 1,1 m at a speed of 200 km/h (a – immersed solid method, b – sliding grid method) [performed by the author].



Pic. 14. Pressure distribution near the first car of the design train at a height of 1,1 m at a speed of 220 km/h (a – immersed solid method, b – sliding grid method) [performed by the author].

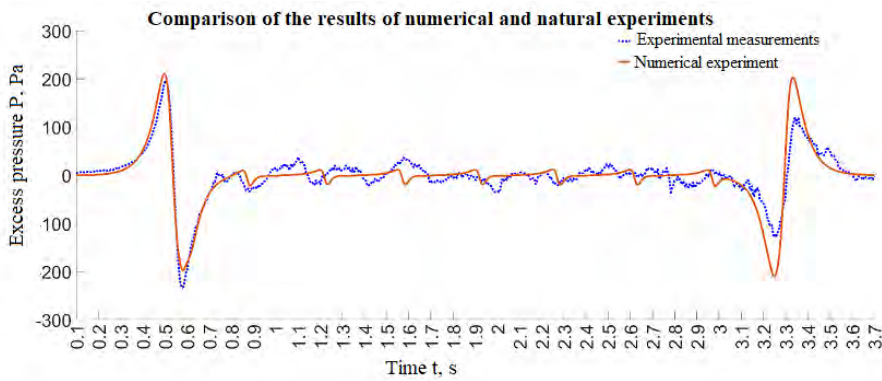


Pic. 15. Pressure distribution near the first car of the design train at a height of 1,1 m at a speed of 250 km/h (a – immersed solid method, b – sliding grid method) [performed by the author].

Table 1

Results of comparison of experimental and calculated extreme pressure values [performed by the author]

| Speed | Distance from track axis, m | Height above rail head level, m | Discrepancy, %       |                  |                    |                  |
|-------|-----------------------------|---------------------------------|----------------------|------------------|--------------------|------------------|
|       |                             |                                 | immersed solid model |                  | sliding grid model |                  |
|       |                             |                                 | maximum pressure     | minimum pressure | maximum pressure   | minimum pressure |
| 200   | 3,3                         | 3,1                             | 9                    | 4                | 13                 | 10               |
|       | 3,4                         | 2,15                            | 13                   | 12               | 10                 | 14               |
|       | 3,4                         | 2,5                             | 12                   | 8                | 8                  | 15               |
|       | 3,8                         | 2,6                             | 14                   | 2                | 15                 | 11               |
|       | 4                           | 1,3                             | 1                    | 1                | 12                 | 5                |
|       | 7,1                         | 4,2                             | 9                    | 12               | 4                  | 14               |
|       | 7,6                         | 1,35                            | 3                    | 1                | 13                 | 6                |
| 220   | 3,5                         | 2,15                            | 15                   | 1                | 1                  | 7                |
|       | 7,5                         | 3,1                             | 13                   | 13               | 15                 | 10               |
|       | 7,5                         | 2,4                             | 1                    | 10               | 14                 | 7                |
|       | 8                           | 2,6                             | 14                   | 9                | 10                 | 2                |
|       | 8,5                         | 2,15                            | 3                    | 10               | 2                  | 15               |
| 250   | 2,4                         | 2,7                             | 11                   | 5                | 11                 | 5                |
|       | 3,1                         | 2,4                             | 14                   | 15               | 3                  | 12               |
|       | 3,4                         | 1,7                             | 12                   | 15               | 7                  | 15               |
|       | 4,2                         | 1,5                             | 5                    | 15               | 13                 | 5                |
|       | 9,2                         | 1,5                             | 14                   | 15               | 2                  | 10               |



Pic. 16. Comparison of excess pressure values at the control and measuring point obtained numerically and experimentally for Sapsan high-speed electric train at a speed of 250 km/h (distance from the track axis is 3,1 m, height above the level of the rail head is 2,4 m) [performed by the author].

obtained in the software package were compared with the data of foreign experimental measurements of the aerodynamic impact during the passage of a high-speed train ICE3 at a speed of 300 km/h (Pic. 17) [18]. The discrepancy between the extreme values is no more than 8 %.

Thus, the verification results show that the developed calculation models have a sufficient validity and can be used in solving problems of aerodynamic interaction of high-speed rolling stock with the air environment and infrastructure facilities.

## CONCLUSION

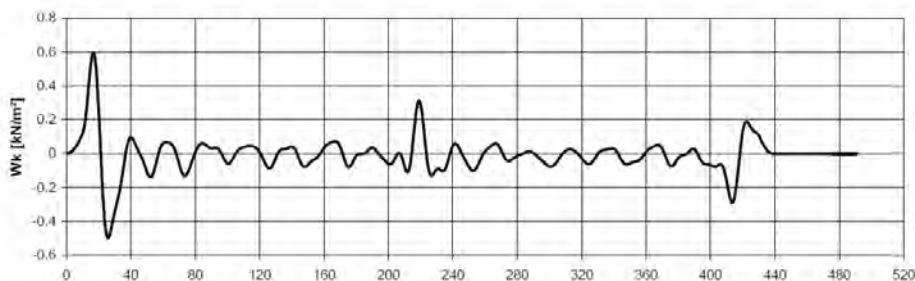
The article has considered various approaches to numerical modelling of the aerodynamic interaction of high-speed rolling stock, air environment and infrastructure facilities. The developed calculation models were verified based on experimental measurements of the aerodynamic impact of Sapsan high-speed electric train and the results of similar foreign studies. The largest discrepancy between the calculated and experimental values is no more

than 15 %, which allows us to conclude that the developed models are sufficiently reliable.

Comparison of two different approaches (sliding grid method and immersed solid method) to modelling the aerodynamics of a moving train relative to stationary objects allows us to draw conclusions about the appropriateness of their application, depending on the problem statement.

So, to determine the magnitude of the aerodynamic force and moment acting on the cars of the design train, it is necessary to use the method of sliding grid, which makes it possible to form a boundary layer near the walls of the cars and obtain the most correct picture of the distribution of air masses and, as a result, reliable values of the impact on the rolling stock.

To determine the degree of aerodynamic impact on various infrastructure facilities, it is proposed to use the immersed solid method. This approach does not allow modelling the boundary layer around the walls of the design train and, as a result, obtaining reliable values of aerodynamic loads on the rolling stock. However, when determining the degree of aerodynamic impact



Pic. 17. Graph of the pressure value along the length of a high-speed electric train moving at a speed of 300 km/h [18] (the x-axis – the length of the electric train, y-axis – the pressure values).

on the infrastructure, this factor is not mandatory. Also, the immersed solid method requires significantly less computational and time costs, which makes it the most rational in solving problems of determining the aerodynamic impact on structures and facilities.

## REFERENCES

1. Smymov, V. N., Dyachenko, A. O., Dyachenko, L. K. The peculiarities of constructing bridges at high-speed mainline railroads. *BRNI*, 2017, Iss. 3, pp. 69–81. [Electronic resource]: <http://brni.info/download/brnyck-24.pdf> (full text of the issue). Last accessed 03.07.2022.
2. Vatulina, E. Ya., Komissarov, E. V., Polyakov, B. O., Vatulin, Ya. S. Design of protective structures for closely-located structures of the railway infrastructure based on the methodology for assessing the aerodynamic influence of high-speed rolling stock [*Proektirovanie zashchitnykh sooruzhenii priblizhennykh stroenii zheleznodorozhnoi infrastruktury na osnove metodiki otsenki aerodinamicheskogo vliyaniya vysokoskorostnogo podvizhnogo sostava*]. *Bulletin of scientific conferences*, 2016, Iss. 4–2, pp. 26–34. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26083569>. Last accessed 03.07.2022.
3. Lazarenko, Yu. M., Kapuskin, A. N. Sapsan high-speed train's aerodynamical action on passengers standing on platform and on oncoming train when meeting. *Vestnik VNIIZhT*, 2012, Iss. 4, pp. 11–14. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17876171>. Last accessed 03.07.2022.
4. Baker, C. J. A review of train aerodynamics. Part 1 – Fundamentals. *The Aeronautical Journal*, 2014, Vol. 118, Iss. 1201, pp. 201–228. DOI: <https://doi.org/10.1017/S000192400000909X> [access restricted for subscribers].
5. Baker, C. J. A review of train aerodynamics. Part 2 – Application. *The Aeronautical Journal*, 2014, Vol. 118, Iss. 1202, pp. 345–382. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0001924000009179> [access restricted for subscribers].
6. Kazakevich, M. N. Aerodynamics of bridges [*Aerodinamika mostov*]. Moscow, Transport publ., 1987, 240 p.
7. Airapetov, A. B., Katunin, A. V. Study of the pattern of aerodynamic interaction of a speed train moving under the structure of an automobile overpass on a direct motion installation [*Issledovanie kartiny aerodinamicheskogo vzaimodeystviya skorostnogo poezda, dvizhushchegosya pod konstruktsiei atomobilnogo puteprovoda na ustanovke pryamogo dvizheniya*]. In: Proceedings of XXVII scientific-technical conference on aerodynamics, Zhukovsky, Moscow region, April 21–22, 2016. Central Aerohydrodynamic Institute named after prof. N. E. Zhukovsky (TsAGI), 2016, pp. 23–24. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26232990>. Last accessed 03.07.2022.
8. Smirnov, E. M., Zaitsev, D. K. Finite Volume Method as Applied to Problems of Hydraulic Gas Dynamics and Heat Transfer in Complex Geometry Fields [*Metod konechnykh ob'emov v prilozhenii k zadacham gidrogazodinamiki i teploobmena v oblastiakh slozhnoi geometrii*]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti*, 2004, Iss. 2, pp. 1–22. [Electronic resource]: <https://aero.spbstu.ru/publ/smironov3.pdf>. Last accessed 03.07.2022.
9. Gullberg, R. Computational Fluid Dynamics in OpenFOAM. Mesh Generation and Quality. TKP 4555 Advanced Process Simulation. Norwegian University of Science and Technology. Final Report, 2017. [Electronic resource]: [https://folk.ntnu.no/preisig/HAP\\_Specials/AdvancedSimulation\\_files/2017/project%20reports/CFD/Rebecca%20Gullberg%20-%20CFD\\_Mesh\\_Report.pdf](https://folk.ntnu.no/preisig/HAP_Specials/AdvancedSimulation_files/2017/project%20reports/CFD/Rebecca%20Gullberg%20-%20CFD_Mesh_Report.pdf). Last accessed 03.07.2022.
10. Khayrulina, A., Blocken, B., Janssen, W., Straathof, J. CFD simulation of train aerodynamics: Train-induced wind conditions at an underground railroad passenger platform. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2015, Vol. 139, pp. 100–110. DOI: [10.1016/j.jweia.2015.01.019](https://doi.org/10.1016/j.jweia.2015.01.019).
11. Iliadis, P., Hemida, H., Soper, D., Baker, C. Numerical simulations of the separated flow around a freight train passing through a tunnel using the sliding mesh technique. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 2019, Vol. 234, Iss. 6, pp. 638–654. DOI: <https://doi.org/10.1177/0954409719851421>.
12. Yebo, Liu; Hemida, H., Zhiming, Liu. Large eddy simulation of the flow around a train passing a stationary freight wagon. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 2013, Vol. 228, Iss. 5, pp. 535–545. DOI: <https://doi.org/10.1177/0954409713488096>.
13. Valger, S. A., Fedorov, A. V., Fedorova, N. N. Simulation of incompressible turbulent flows in vicinity of bluff bodies with ANSYS Fluent. *Vychislitelnye tekhnologii*, 2013, Iss. 5, pp. 27–40. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20345326>. Last accessed 03.07.2022.
14. Loktev, A. A., Korolev, V. V., Poddavaeva, O. I., Stepanov, K. D., Chernikov, I. Yu. Mathematical modelling of aerodynamic behaviour of antenna-mast structures when designing communication on railway transport. *Vestnik VNIIZhT*, 2018, Iss. 2(77), pp. 77–83. DOI: [10.21780/2223-9731-2018-77-2-77-83](https://doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-2-77-83).
15. Maleki, S., Burton, D., Thompson, M. C. Assessment of various turbulence models (ELES, SAS, URANS and RANS) for predicting the aerodynamics of freight train container wagons. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2017, Vol. 170, pp. 68–80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2017.07.008> [access restricted for subscribers].
16. Zampieri, A., Rocchi, D., Schito, P., Somaschini, C. Numerical-experimental analysis of the slipstream produced by a high-speed train. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2019, Vol. 196, art. 104022. DOI: [10.1016/j.jweia.2019.104022](https://doi.org/10.1016/j.jweia.2019.104022) [access restricted for subscribers].
17. Labutin, N. A., Dyachenko, L. K., Lang, A. V. Experimental measurements of rolling stock aerodynamics [*Ekspperimentalnye izmereniya aerodinamiki podvizhnogo sostava*]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya*, 2022, Iss. 3 (62), pp. 40–48. DOI: [10.52170/1815-9265\\_2022\\_62\\_40](https://doi.org/10.52170/1815-9265_2022_62_40).
18. Hoffmeister, B. Lärmschutzwände an Hochgeschwindigkeitsstrecken der Bahn – eine Herausforderung für den Leichtbau. D-A-CH Tagung der Österreichischen Gesellschaft für Erdbeningenieurwesen und Baudynamik. Vienna, 27–28 September 2007, pp. 1–11. [Electronic resource]: [http://oge.or.at/pdf/d-a-ch\\_2007/05\\_Laermschutzwaeende-an-Hochgeschwindigkeitsstrecken-eine-Herausforderung-fuer-den-Leichtbau.pdf](http://oge.or.at/pdf/d-a-ch_2007/05_Laermschutzwaeende-an-Hochgeschwindigkeitsstrecken-eine-Herausforderung-fuer-den-Leichtbau.pdf). Last accessed 03.07.2022.

### Information about the author:

**Labutin, Nikita A.**, Engineer, Ph.D. student at the Department of Bridges of Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia, [n\\_labutin@outlook.com](mailto:n_labutin@outlook.com).

Article received 06.07.2022, approved 06.09.2022, accepted 10.09.2022.



# Optimisation of the Aerodynamic Shape of a Monorail Suspended Unibus



Anatoli E. UNITSKY



Sergey V. ARTYUSHEVSKY



Mikhail I. TSYRLIN

Anatoli E. Unitsky <sup>1</sup>, Sergey V. Artyushevsky <sup>2</sup>, Mikhail I. Tsyrlin <sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> String Technologies CJSC, Minsk, Belarus.

✉ <sup>3</sup> [m.tsirlin@unitsky.com](mailto:m.tsirlin@unitsky.com).

## ABSTRACT

The aerodynamic optimisation of the shape of a monorail suspended unibus of string transport has been described within the study on the influence of geometric and structural elements on aerodynamic characteristics. The estimate was carried out through a comparative analysis of the features of two shapes of a model with a further change and recalculation of the model being finalised. The comparison was focused on the drag force and the shape drag coefficient. The calculations used a gas dynamics model based on the Reynolds equations using the Menter SST-k- $\omega$  (shear stress transport) turbulence model. To solve the equations to find the design functions, an upwind second-order discretisation scheme was used applying the «pressure–velocity» refinement procedure in the framework of SIMPLE algorithm of Patankar–Spalding with the ANSYS Computational Fluid Dynamics Software. The

dimensions of the computational domain were chosen considering the geometric dimensions of the 3D model of the shape. Boundary conditions were identified in the solver. The simulation was carried out for the case of motion of a vehicle at a constant speed.

The calculations have shown the importance and influence of the geometry of the transition sections of the vehicle body, the mandatory use of wheel fairings and the advantages of the S-shaped tail. The proposed design optimisation made it possible to reduce the drag force and coefficient by 16,9 %. The studies have resulted in selection of the optimal vehicle model which has the lowest aerodynamic drag coefficient, which made it possible to improve the energy efficiency of the system and its environmental friendliness, and consequently, the profit potential of the transportation process.

**Keywords:** string transport, unibus, aerodynamics, model, drag force, shape drag coefficient, pressure distribution on the frontal surfaces of the model, optimisation of the form shape.

*For citation:* Unitsky, A. E., Artyushevsky, S. V., Tsyrlin, M. I. Optimisation of the Aerodynamic Shape of a Monorail Suspended Unibus. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 4 (101), pp. 163–172. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-2>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.  
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

## INTRODUCTION

### Description of the Mathematical Model and Methods of Calculation of Aerodynamic Performance

The impact of the oncoming air flow with a speed  $V$  on the vehicle is reduced to loads continuously distributed over its surfaces. These distributed loads result in a net aerodynamic force applied at the centre of pressure and an aerodynamic moment around the centre of mass. The sum of drag and lift forces constitutes the aerodynamic force. The drag force itself is composed of pressure drag and friction drag [1].

When the air flows past the model, the oncoming air flow is compressed from the windward (frontal) side with formation of a high-pressure zone. The air flow, sliding across the contour, rushes to its rear part. The action of viscous friction forces causes an increase in the dynamic boundary layer and, subsequently, the air flow is separated from the surface and a trailing vortex is created behind it. In the rear part there is a zone of low pressure, where air inflow takes place constantly.

The pressure drag force is created due to the difference in air pressure on the frontal and rear parts of the vehicle. In turn, friction drag force is due to the attachment of layers of moving air to the surface of the model, because of which the air flow loses speed. In this case, the magnitude of the friction drag force depends on the properties of the material, quality, and condition of the surface [2].

The air flowing past a vehicle at a speed within the range of 150 km/h (41,7 m/s) occurs in a turbulent regime (Reynolds number  $Re = 13,5 \cdot 10^6 > 10^6$ ). In such cases, to solve practical problems of turbulent motion of flow, the system of Reynolds equations (RANS), continuity equations or analogues based on large-eddy methods, LES, are used:

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0, \quad \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_j \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \nu \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \overline{u_i u_j} \right],$$

where  $\bar{u}_i$ ,  $\bar{u}_j$  – Reynolds stress closures based on the Boussinesq hypothesis with the help of the turbulent viscosity  $\nu_t$  [3].

They are distinguished from the standard Navier–Stokes equations by the presence of an additional turbulent viscosity  $\nu_t$ , which is many times greater than the molecular viscosity of the oncoming air.

According to [4], to solve external flow problems, it is recommended to use the Saffman–Wilcox  $k-\omega$  model, the Spalart–Allmaras model, the Menter shear stress transport model, and the Launder and Jones  $k-\varepsilon$  model for the kinetic energy of turbulent fluctuations  $k$  and its dissipation rate  $\varepsilon$ .

For the numerical solution, a gas dynamics model based on the Reynolds equation (RANS approach) is used. In this formulation of the problem, the determined functions to be found are the velocity of air flowing past the surfaces of the unibus and the pressure on its surfaces; it is assumed that the air flow is isothermal and incompressible (constancy of temperature and density) as a medium flowing around the vehicle [5]. To solve the Reynolds equations, a turbulence model of the type of the Menter  $SST-k-\omega$  shear stress transport model was chosen [6; 7].

### Objective

The *objective* of this work was to provide information on aerodynamic optimisation of a monorail suspended unibus of complex geometric shape using the modern Computational Fluid Dynamics Simulation Software [8; 9].

## RESULTS

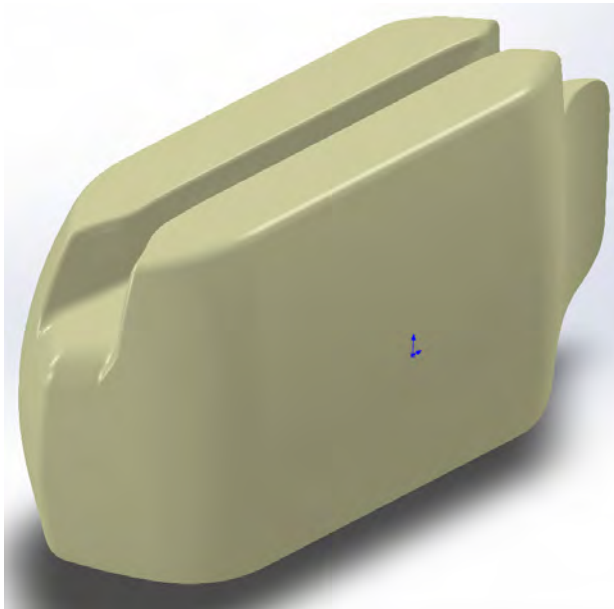
### Model Preparation and Procedure of the Study on the Aerodynamic Performance of the Model Shape

Constructing of a 3D model for computation was based on an assembly element of a monorail suspended unibus of string transport (Pic. 1); it was further refined considering the features of constructing a computational mesh: internal elements that do not affect aerodynamics were removed, external elements were merged into a single part, internal cavities were filled.

The dimensions of the computational domain were chosen considering the geometric dimensions of the 3D model. The calculation area is a parallelepiped with geometric dimensions of 50,0 x 11,5 x 13,0 m (Pic. 2).

For the calculation, a standard coordinate system is adopted: the direction of the  $X$ -axis is chosen opposite to the direction of movement of the vehicle, coincides with the direction of the drag force;  $Y$ -axis is a vertical upward axis that coincides with lift force;  $Z$ -axis is directed perpendicular to the  $X$ -axis in the horizontal plane.

Boundary conditions were identified in the solver of the ANSYS Fluent software [10]. The

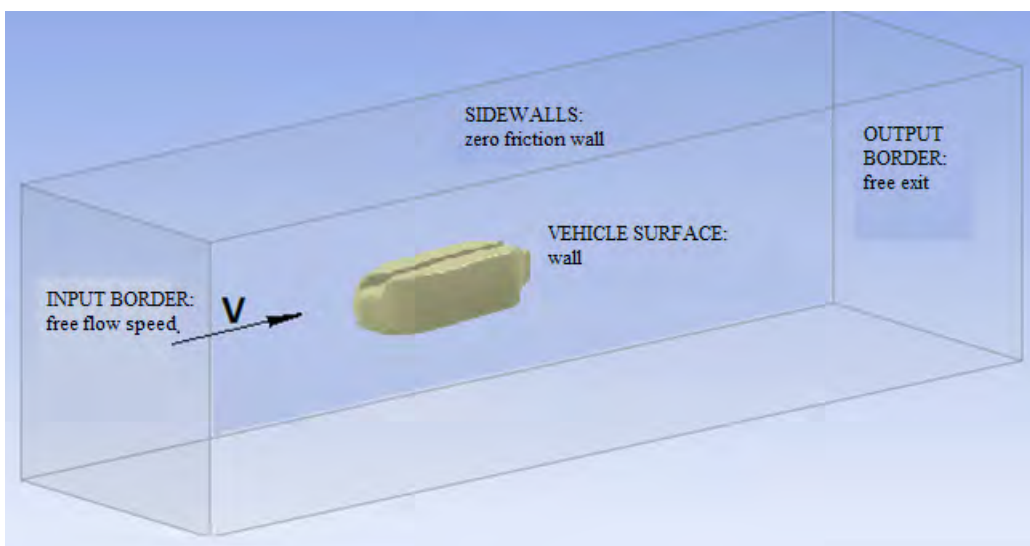


*Pic. 1. Working 3D model of the shape of a monorail suspended unibus [developed by the authors].*

simulation was performed for the case of motion at a constant speed, its longitudinal component was equal to the speed of the oncoming flow [11] and was set at the input boundary: speed of the oncoming flow was 41,7 m/s (150 km/h). Air flowing occurs at a normal atmospheric pressure of 101325 Pa and a constant temperature of 15°C, the turbulence intensity is 5 %, the turbulence scale is 10. «Soft» boundary conditions of the exit were taken at the output border. On the side surfaces of the computational domain, the wall conditions were set, but with

zero friction (the condition of flow sliding near the wall), which made it possible to simulate the real conditions of an unlimited domain in a limited space [12]. For the surfaces of the model, sticking conditions were adopted (no slipping – No-slip).

The air at 20°C was chosen as a mobile (non-stationary) medium. The dimensions and type of the grid for all calculations are taken to be the same; preliminary analysis of the degree of mesh refinement showed a slight effect on the value of the sought-for drag coefficient. The

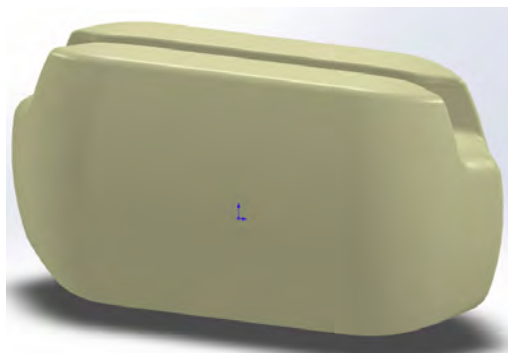


*Pic. 2. Computational domain with a suspended unibus model [developed by the authors].*





Pic. 3. Model No. 1 [developed by the authors].



Pic. 4. Model No. 2 [developed by the authors].

maximum effect is determined when mesh was refined in the near-wall zone using a boundary layer with progressively changing dimensions of the first cell and adapting the mesh by splitting it two-fold. The calculation assumes an adaptation by the number  $y^+$  with a value of one. With  $y^+ = 1$ , the mesh tends to a situation where several calculation nodes are formed in the near-wall layer. This allows considering the influence of the boundary layer. Each adaptation of the mesh refined the wall zone two-fold. Computation comprised 4 adaptations bringing  $y^+$  closer to one. After the fourth adaptation, the result is distorted, and further refinement becomes senseless. Hypothetically, this is due to a numerical error, since the size of the adaptive mesh changes by more than 20 % when halved, which leads to a distortion of the results obtained. As an assumption, the absence of the effect of compressibility of air is accepted. A significant manifestation of the compressibility effect appears when the Mach number is greater than  $1/3$ , while the speed of sound in air under given conditions is close to 330 m/s, which is 2,6 times higher than the design speed of movement.

To solve the Reynolds equations with *SST- $k-\omega$*  Menter model to find the desired functions, the upstream second-order discretisation scheme was used using the «pressure-velocity» refinement procedure according to the SIMPLE Patankar–Spalding algorithm [13; 14].

Initialisation was carried out according to the flow parameters at the input border of the computational domain.

### Assessment of Aerodynamic Performance

The assessment was carried out within a comparative analysis of the aerodynamic properties of two shapes with a further change and recalculation of the finalised model.

The following indicators were compared:

1. Pressure distribution field.
2. Force of frontal drag  $F_x$ .
3. Shape drag coefficient  $C_x$ .
4. Presence of turbulent flows.

Computation of drag force and coefficient was conducted in ANSYS Fluent software environment.

As it is known, the pressure field determines the aerodynamic wind resistance of any structure; the oncoming flow creates a high-pressure zone on the front surface; the maximum pressure corresponds to the point of greatest stagnation of the air flow.

The midsection in all models remained the same; the length varied in the range from 4,85 to 5,03 m.

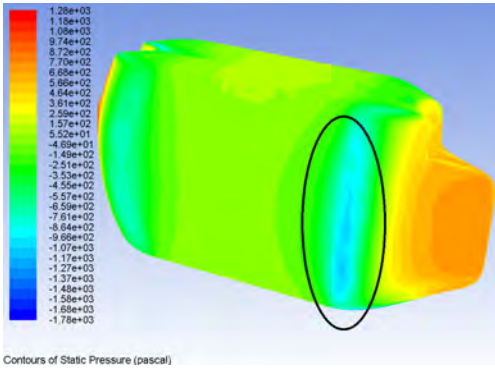
The first pair of compared models determined the initial characteristics and showed the influence of the *S*-shaped tail fairing: in the first model, the «nose–tail» combination was used (Pic. 3), the second based on the «nose–nose» combination (Pic. 4).

Calculation results for the models No. 1 and No. 2 are shown in Table 1.

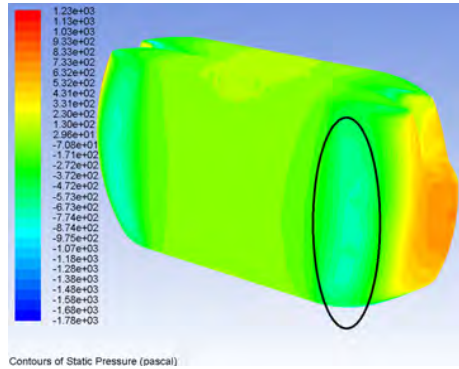
The result turned out to be the opposite to what was expected: the model No. 2, despite the absence of a *S*-shaped tail fairing, has got better aerodynamic performance.

After analysing and comparing the results of two calculations, a sharp drop in pressure on the side surface of model No. 1 became evident in the place where the radius of the rear fairing begins (Pic. 5). In the same place, model No. 2 shows only slight changes in pressure (Pic. 6).

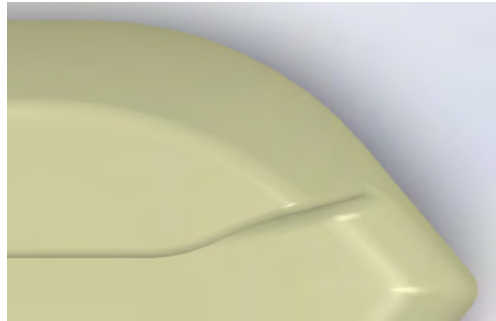
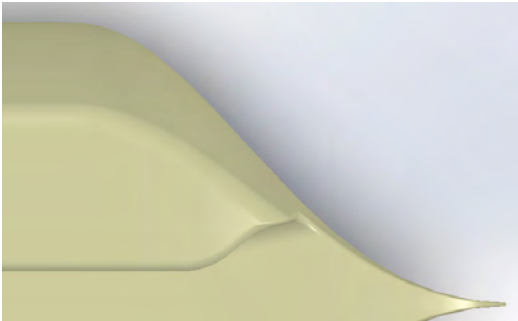
Comparing the geometry of these elements, it should be noted (Pic. 7) that the desire to shorten the tail fairing of model No. 1, increasing the straight section of the cabin, leads to a decrease in the transition radius and to stall with deterioration in aerodynamic characteristics compared to model No. 2, despite its short fairing



*Pic. 5. Pressure distribution over the surface of the model No. 1 [developed by the authors].*



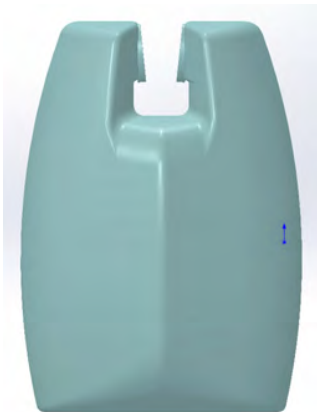
*Pic. 6. Pressure distribution over the surface of the model No. 2 [developed by the authors].*



*Pic. 7. Comparison of the configuration geometry of the models No. 1 and No. 2 [developed by the author].*



*Pic. 8. Change in the geometry of the tail fairing in the models No. 3 and No. 4 [developed by the authors].*



*Pic. 9. Model No. 3 [developed by the authors].*



*Pic. 10. Model No. 4 [developed by the authors].*

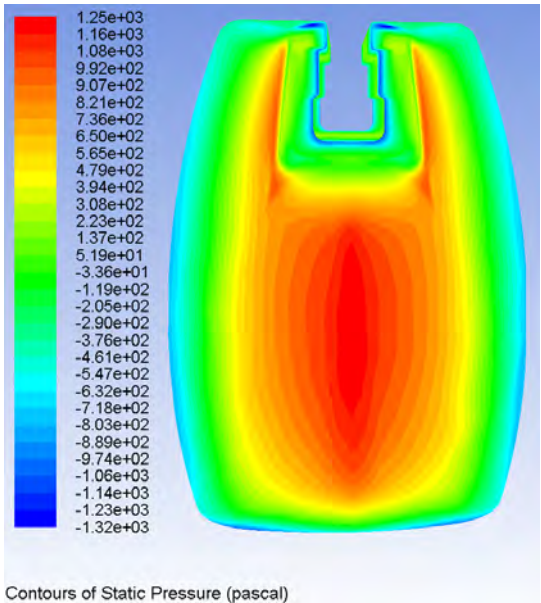


Table 1 [compiled by the authors]

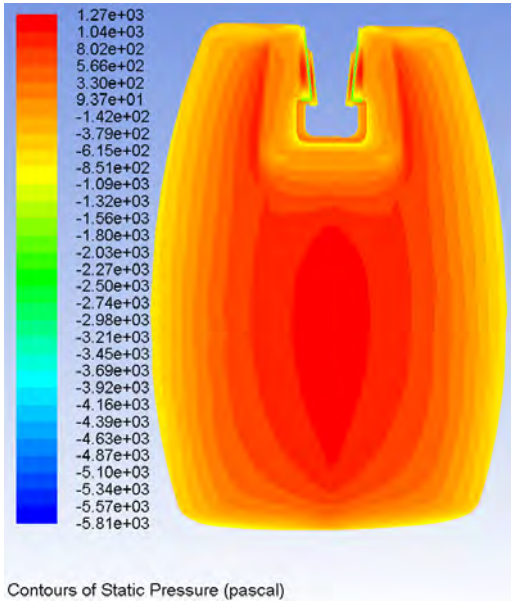
| Model number | $F_x$ , N | $C_x$ |
|--------------|-----------|-------|
| No. 1        | 330       | 0,095 |
| No. 2        | 302       | 0,086 |

Table 2 [compiled by the authors]

| Model number | $F_x$ , N | $C_x$  |
|--------------|-----------|--------|
| No. 3        | 296       | 0,0845 |
| No. 4        | 372       | 0,1065 |



Pic. 11. Pressure distribution over the frontal surface of the model No. 3 [developed by the authors].



Pic. 12. Pressure distribution over the frontal surface of the model No. 4 [developed by the authors].

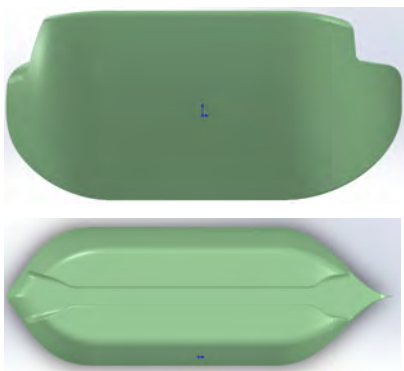
and the presence of bottom drag due to the «blunt» tail.

To improve the drag coefficient, it was recommended to increase the transition radius in the tail fairing of the next models.

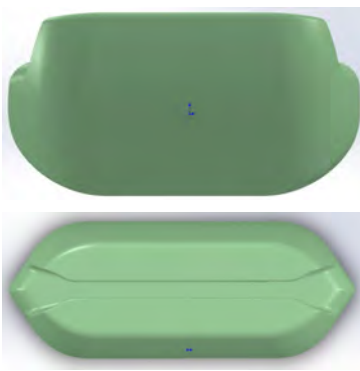
The construction of models No. 3 and No. 4 considered the results of previous calculations;

the transition radius in the tail fairing was increased (Pic. 8), also the effect of open and closed wheels was compared.

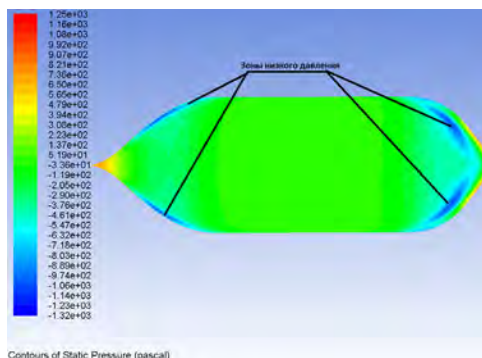
In model No. 3, the wheels are completely covered with fairings (Pic. 9), in model No. 4, the wheels protrude beyond the fairings (Pic. 10).



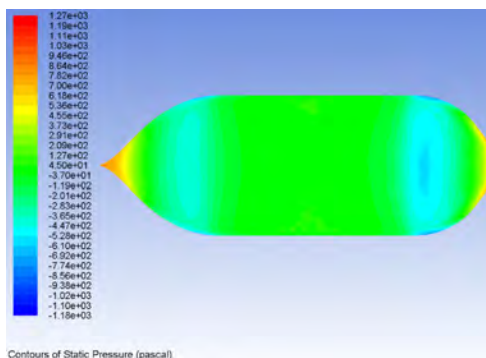
**Pic. 13. Model No. 5 [developed by the authors].**



**Pic. 14. Model No. 6 [developed by the authors].**



**Pic. 15. Pressure distribution over the bottom of the vehicle of the model No. 3 [developed by the authors].**



**Pic. 16. Pressure distribution over the bottom of the vehicle of the model No. 5 [developed by the authors].**

Calculation results for the models No. 3 and No. 4 are shown in Table 2.

The calculation showed a significant deterioration in the drag coefficient (by 26 %) with open wheels.

The frontal, lateral and tail surfaces of the models (Pics. 11, 12) are subject to the same pressure, while model No. 4 looks more «red» due to the drop in the lower pressure limit from  $-1,32e + 03$  to  $-5,81e + 03$ , as a result of which the «green» zone has shifted up the scale; the difference is created by the rail tunnel and the wheels.

The conclusion is clear: the wheels must be covered with fairings.

Construction of models No. 5 and No. 6 considered the results of previous calculations: to improve aerodynamic features, the transition of the front and rear fairings to the bottom was

changed (Pics. 13, 14), the effect of the S-shaped tail fairing was compared again.

Calculation results for the models No. 5 and No. 6 are shown in Table 3.

The calculation showed a positive effect of a smooth transition from the nose and tail fairings to the bottom; due to the absence of a sharp transition, the low-pressure zones, that had caused flow stall and induced air turbulence, practically disappeared (Pics. 15, 16).

In the frontal part, the high-pressure zone decreased (Pic. 17), reducing the component of the pressure drag force. It should be noted that a decrease in the lower pressure limit also has a positive effect on the aerodynamic characteristics.

The pressure distribution in the tail section is almost the same, except for the bottom drag in model No. 6, due to the «blunt tail» and the intersection of two flows from the side surfaces.

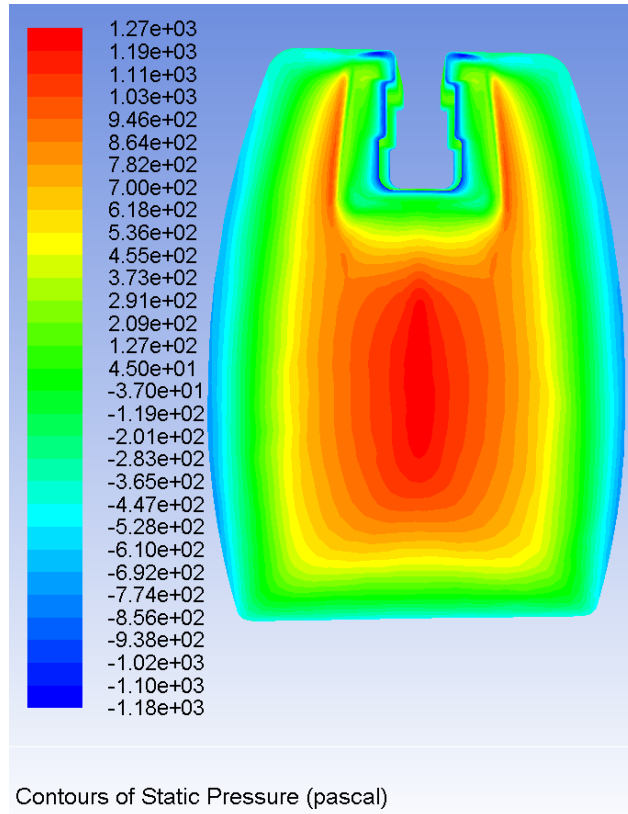
**Table 3 [compiled by the authors]**

| Model number | $F_x$ , N | $C_x$  |
|--------------|-----------|--------|
| No. 5        | 273       | 0,0780 |
| No. 6        | 278       | 0,0795 |

**Table 4 [compiled by the authors]**

| Model number | $F_x$ , N | $C_x$  |
|--------------|-----------|--------|
| No. 7        | 274       | 0,0782 |
| No. 8        | 272       | 0,0778 |





*Pic. 17. Pressure distribution on the frontal surface of the models No. 5 and No. 6 [developed by the authors].*



*Pic. 18. Model No. 7 [developed by the author].*



*Pic. 19. Model No. 8 [developed by the authors].*

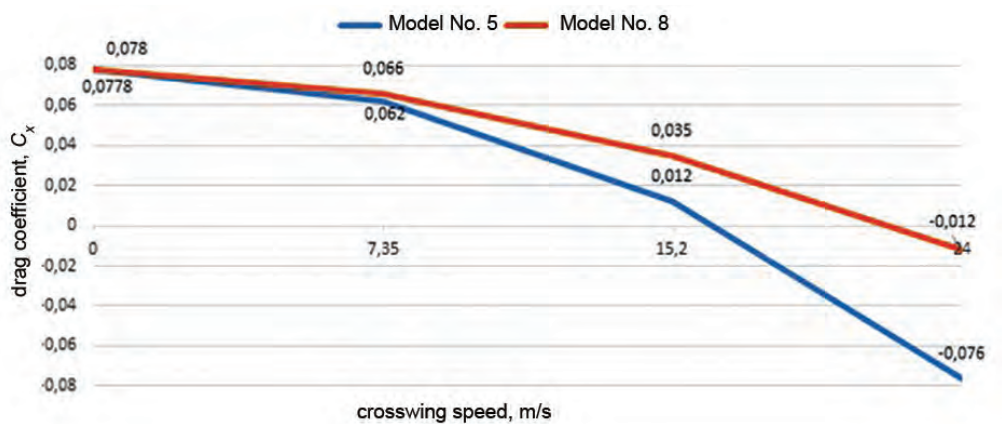
In model No. 5, due to the S-shaped tail fairing, the flows do not intersect, but exit in parallel. That, considering the symmetry of the model, creates co-directional air flows moving at the same speed, these techniques reduce, and in some places completely eliminate the formation of Karman vortex streets.

The model No. 7 is the Model No. 5 rotated 180° (Pic. 18) (determination of aerodynamic characteristics when reversing); in model No. 8, the «tail–tail» combination was used (Pic. 19).

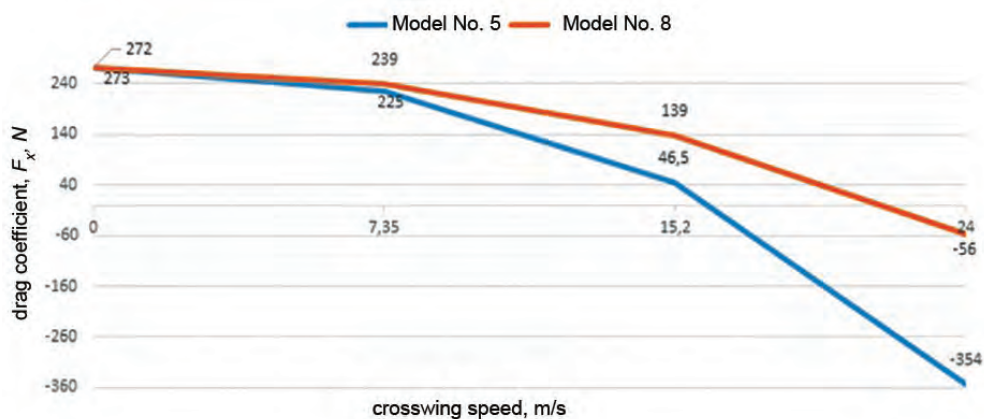
Calculation results for the models No. 7 and No. 8 are given in Table 4.

Calculations showed that the increase in the drag force when reversing at these speeds was 0,25 %; it can be said that vehicles with the shape implemented in models No. 5 and No. 7 are able to move forward / backward with the same aerodynamic characteristics at speeds  $V=41,7$  m/s.

The calculation of model No. 8 showed a slight improvement in aerodynamic characteristics (by the same 0,25 %), therefore, in the following calculations, considering crosswinds, the shapes that showed the best results, namely, models No. 5 and No. 8, were compared.



Pic. 20. Dependences of the drag coefficient  $C_x$  on the crosswind speed [developed by the authors].



Pic. 21. Dependences of the resistance force  $F_x$  on the crosswind speed [developed by the authors].

To determine the characteristics, considering the impact of the crosswind, the calculated zone of wind-tunnel testing was rotated relative to the vehicle and the coordinate system at an angle of respectively 10, 20 and 30 degrees, which corresponded to a crosswind speed of 7,35; 15,2 and 24 m/s, respectively. The speed of the oncoming flow as a resultant value took the values  $V_{10} = 42,34$  m/s,  $V_{20} = 44,37$  m/s and  $V_{30} = 48,15$  m/s.

As a separate characteristic necessary to determine the wind loads on the track structure,

the drag force and coefficient of the shape of a stationary vehicle from the wind directed at an angle of  $90^\circ$  with a speed of  $V_{90} = 24$  m/s were determined.

The calculation results for the models No. 5 and No. 8 are shown in Table 5 and graphically in Pics. 20 and 21.

As the calculation results showed, model No. 5, due to the rounded front fairing, has better characteristics, despite the higher coefficient and drag force at zero crosswind speed. Model No. 8

Table 5 [compiled by the authors]

| Model number | Wind speed 7,35 m/s, vehicle speed 41,7 m/s |           | Wind speed 15,2 m/s, vehicle speed 41,7 m/s |           | Wind speed 24 m/s, vehicle speed 41,7 m/s |           | Wind speed 24 m/s, vehicle speed 0 m/s |           |
|--------------|---------------------------------------------|-----------|---------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------|-----------|----------------------------------------|-----------|
|              | $F_{x10}$ , N                               | $C_{x10}$ | $F_{x20}$ , N                               | $C_{x20}$ | $F_{x30}$ , N                             | $C_{x30}$ | $F_{90}$ , N                           | $C_{x90}$ |
| No. 5        | 225                                         | 0,062     | 46,5                                        | 0,012     | -354                                      | -0,076    | 2229                                   | 0,652     |
| No. 8        | 239                                         | 0,066     | 139                                         | 0,035     | -56                                       | -0,012    | 2430                                   | 0,699     |



has a flat spade-shaped nose, which under a crosswind becomes a kind of sail, worsening the flow of the oncoming air, and increasing the impact of wind load on the track [monorail] structure.

Negative values of the drag coefficient  $C_x$  and force  $F_x$  for vehicle at rest are associated with the change in the difference between the zones of high and low pressure in the front and rear zones in the adopted coordinate system, with the geometric features of the shape of the vehicles, as can be seen from the smaller influence regarding the symmetrical model No. 8.

## CONCLUSIONS

The study referred to consequent optimisation of the complex geometric shape of the body of a monorail string vehicle, that was a unibus. The calculations showed the importance and influence of the geometry of the body transition sections, the mandatory use of wheel fairings and the advantages of the S-shaped tail fairing. All these factors to varying extents affect the value of the total aerodynamic resistance to motion of a vehicle. Therewith, the proposed design optimisation makes it possible to reduce the force and drag coefficient by 16,9 %. Based on the results of the research, the optimal vehicle model was selected, which has the lowest aerodynamic drag coefficient, allowing to improve the energy efficiency of the system and environmental friendliness, and, consequently, the profit potential of the transportation process.

## REFERENCES

1. Mkhitarian, A. M. Aerodynamics [Aerodinamika]. Moscow, Ekolot publ., 2013, 448 p. ISBN 978-5-4365-0050-8.
2. Kvasnovskaya, N. P., Kvasnovsky, A. S. Aerodynamics of modern passenger cars [Aerodinamika sovremennykh legkovykh avtomobilei]. Avtotransportnoe predpriyatie, 2006, Iss. 3, pp. 51–55.
3. Wilcox, D. C. Turbulence modeling for CFD. 3<sup>rd</sup> ed. DCW industries, 2006, Vol. 2, 522 p. ISBN 978-1-928729-08-2 (1-928729-08-8).
4. Belov, I. A., Isaev, S. A. Modelling of turbulent flows: Study guide [Modelirovaniye turbulentnykh techeniy: Ucheb. posobie]. St. Petersburg, Baltic State Technical University, 2001, 108 p.
5. Molchanov, A. M. Thermophysics and Dynamics of Fluid and Gas [Termofizika i dinamika zhidkosti i gaza]. Moscow, MAI publ., 2019, 152 p. [Electronic resource]: <https://k204.ru/downloads/text2019.pdf>. Last accessed 24.05.2022.
6. Menter, F. R., Kuntz, M., Langtry, R. Ten Years of Industrial Experience with the SST Turbulence Model. *Turbulence, heat and mass transfer*, 2003, Vol. 4, No. 1, pp. 625–632. [Electronic resource]: [https://www.researchgate.net/publication/228742295\\_Ten\\_years\\_of\\_industrial\\_experience\\_with\\_the\\_SST\\_turbulence\\_model](https://www.researchgate.net/publication/228742295_Ten_years_of_industrial_experience_with_the_SST_turbulence_model). Last accessed 24.05.2022.
7. Snegirev, A. Yu. High performance computing in technical physics. Numerical modelling of turbulent flows: Study guide [Vysokoproizvoditelnye vychisleniya v tekhnicheskoy fizike. Chislennoe modelirovaniye turbulentnykh techeniy: Ucheb. posobie]. St. Petersburg, SPU publ., 2009, 143 p. ISBN 978-5-7422-2317-7.
8. Unitsky, A. E. String transport systems: on Earth and in space [Strunnie transportnie sistemy: na Zemle i v Kosmose]. Silakrogs, PNB print, 2019, 576 p. ISBN 978-985-90498-1-1.
9. Unitsky, A. E., Garakh, V. A., Tsyrlin, M. I. String transport for urban transportation of passengers [Strunniy transport dlya gorodskikh perevozok passazhirov]. *Nauka i tekhnika transporta*, 2021, Iss. 3, pp. 19–25. DOI: 10.53883/20749325\_2021\_03\_19.
10. Pastukhov, D. F., Volosova, N. K., Pastukhov, Yu. F. Construction of non-stationary models in the ANSYS FLUENT shell: Study guide [Postroenie nestatsionarnykh modelei v obolochke ANSYS FLUENT: Ucheb. posobie]. Novopolotsk, PSU publ., 2018, 46 p. [Electronic resource]: <https://elib.psu.by/bitstream/123456789/22092/3/Построение%20нестационарных%20моделей%20в%20оболочке%20Fluent%20WORKBENCH.pdf>. Last accessed 24.05.2022.
11. Andreichyk, A. F., Shmeliov, A. V., Kharytonchik, S. V. The estimated assessment of aerodynamic losses into the trailer-trailer gap of the linked road vehicle. *Aktualnie voprosy mashinovedeniya*, 2015, Iss. 4, pp. 121–124. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29305331>. Last accessed 24.05.2022.
12. Vysotsky, M. S., Evgrafov, A. N. Aerodynamics of wheel transport [Aerodinamika kolesnogo transporta]. Minsk, Belavtotraktorstroenie publ., 2001, 363 p. ISBN 985-6637-03-1.
13. Patankar, S. V., Spalding, D. B. Heat and Mass Transfer in Boundary Layers. Transl. from English [Russian title: Teplo- i massobmen v pogranichnykh sloyakh]. Moscow, Energia publ., 1971, 128 p.
14. Minkov, L. L., Moiseeva, K. M. Numerical solution of hydrodynamic problems using the Ansys Fluent computer package [Chislennoe rechenie zadach gidrodinamiki s pomoshchyu vychislitelnogo paketa Ansys Fluent]. Toms, STT, 2017, 122 p. ISBN 978-5-93629-594-2. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29806159>. Last accessed 24.05.2022. ●

### Information about the authors:

**Unitsky, Anatoli E.**, Chairman of the Board of Directors, General Designer of CJSC String Technologies, Minsk, Belarus, [a@unitsky.com](mailto:a@unitsky.com).

**Artyushevsky, Sergey V.**, Deputy General Designer for Research of CJSC String Technologies, Minsk, Belarus, [s.artyshevskiy@unitsky.com](mailto:s.artyshevskiy@unitsky.com).

**Tsyrlin, Mikhail I.**, Ph.D. (Eng), Leading Specialist of the Research Department of CJSC String Technologies, Minsk, Belarus, [m.tsirlin@unitsky.com](mailto:m.tsirlin@unitsky.com).

Article received 04.04.2022, approved 06.09.2022, accepted 10.09.2022.

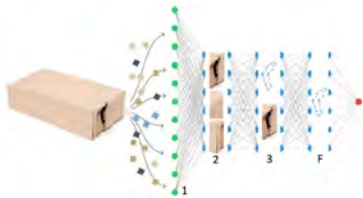


## RAILWAYS 174

*Social effects of rail developments and their monetary assessment.*

## URBAN TRANSPORT 184

*Evaluation of passenger streams using Wi-Fi data.*



## LOGISTICS OPERATIONS 205

*Artificial intelligence to evaluate damaged cargo.*

## TRANSPORT HUBS 217

*Blockchain technology to manage supply: practices of PRC and outlook.*

# MANAGEMENT, ADMINISTRATION AND ECONOMICS



## INTERNATIONAL TRANSPORT CORRIDORS 229

*Digital transportation management platforms: ecosystem of ITC within Eurasian Economic Union.*

## URBAN PUBLIC TRANSPORT 240

*Identification and methods to assess factors influencing quality of service to passengers.*



## CITY TRANSPORT NETWORKS 247

*Development and optimisation of city routes: the case of Bryansk.*





# Assessment of Social Effects Generated by Railways



**Ilya V. Solntsev**

*Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia.*

✉ [ilia.solntsev@gmail.com](mailto:ilia.solntsev@gmail.com).

Ilya V. SOLNTSEV

## ABSTRACT

Currently, the efficiency of transport systems, both at national level and while developing regional and interregional trade and cooperation links, is considered to be among most important factors for successful and sustainable economic development.

The enhancement of transport systems in many cases implies implementation of large infrastructure projects, supposing major investment and generating a series of economic and social effects. And if a few studies have already been devoted to the economic impact, the social sphere has not yet received due attention.

The paper refers to an attempt to fill this gap. The scope of the study regards passenger rail transport that has being dynamically developed in many countries and that is paid much attention in strategic documents on development of transport industry in the Russian Federation.

The objective of the study is to identify the positive and negative effects generated by projects for development of railways, and to propose approaches to their quantitative measurement.

The methods engaged in the study comprise the analysis of academic sources and methodological materials already developed abroad and in Russia, as well as relevant regulatory documents, including the methodology for assessing the socio-economic effects of transport infrastructure construction projects. This made it possible to systematise the existing social effects of railway transport into groups.

The shown examples of monetary assessment of these effects are based on the best foreign practices. The results could be useful to the investors and the public administration for making decisions on funding, as well as for evaluating the effectiveness of transport projects, which could ultimately allow to save budget funds, increase the return on investment and solve several social problems.

**Keywords:** railway transport, efficiency of railway projects, effects of railway transport, time saving effect, environmental effects, transport economics, noise level, social integration, well-being.

**Financial support:** the article was prepared in the framework of the applied research work «Expansion of instruments to increase the socio-economic development of territories through introduction of infrastructure projects for railway transport hubs development», funded through the assignment of the Government of the Russian Federation.

**For citation:** Solntsev, I. V. Assessment of Social Effects Generated by Railways. *World of Transport and Transportation*, 2022, Vol. 20, Iss. 4 (101), pp. 174–183. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-3>.

**The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.**  
**Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.**

INTRODUCTION

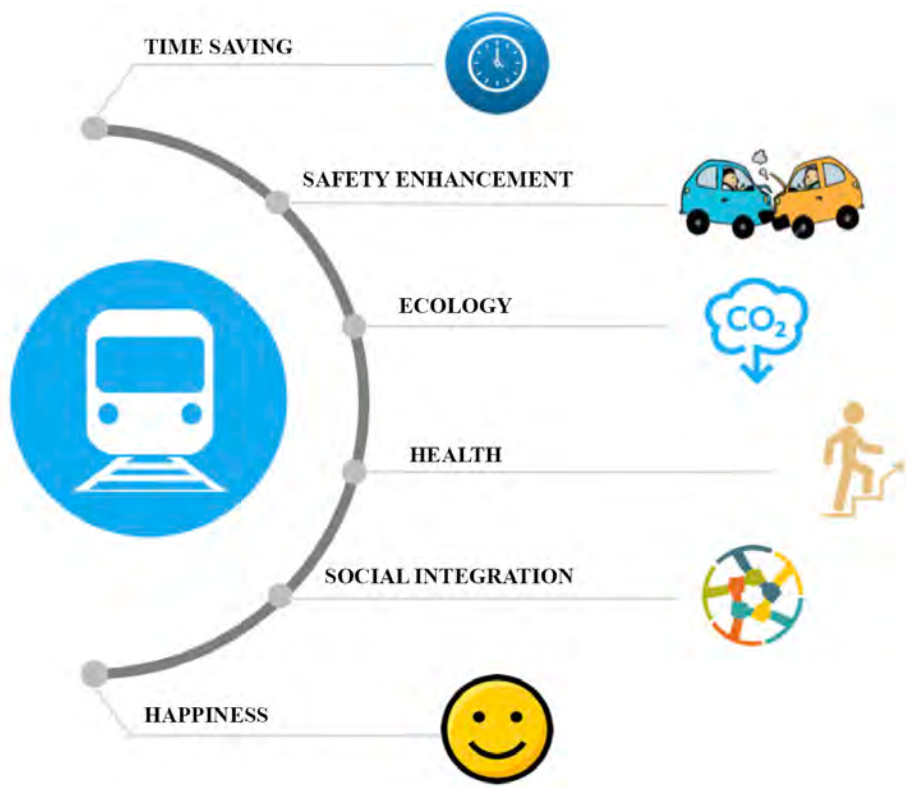
According to the Strategy for Development of Railway Transport in the Russian Federation until 2030<sup>1</sup>, railways will allow the country, economy and society to achieve the following results:

- Acceleration of economic growth.
- Reduction of transport costs for business entities and release of funds for development of other areas of the domestic economy.
- Provision of conditions for development of territorial industrial and scientific clusters.
- Levelling of disproportions of inter-regional development.
- Ensuring trade links between economic centres.
- Increasing the competitiveness of the Russian economy and the attractiveness of the country for business development and investment inflows.
- Development of transport mechanical engineering and other interrelated sectors of the economy.

<sup>1</sup> Strategy for Development of Railway Transport in the Russian Federation until 2030: approved by the Order of the Government of the Russian Federation dated June 17, 2008 No. 877-r. [Electronic resource]: <https://mintrans.gov.ru/documents/7/1010>. Last accessed 14.09.2022.

Most of the research is devoted to assessing the economic effects of railway transport; namely, the works of L. V. Lapidus [1], D. A. Macheret [2], of the Centre for Strategic Research [3] and O. N. Frolova [4] can be mentioned. However, the international experience shows that the impact of transport infrastructure projects is not limited to the economy and affects the social sphere.

The *objective* of the study is to reveal the effects generated by projects for development of railway transport for the economy and the social sphere, and to propose approaches to their quantitative measurement. *Methods* used during the study have comprised an integrated approach and empirical-theoretical methods, that have allowed to conduct a study based on the aggregate characteristics of projects for development of railway transport. The work has used open statistical data, analysed academic sources and methodological materials already developed abroad and in Russia, as well as regulatory documents, including methods for assessing the socio-economic effects of transport infrastructure construction projects, approved by the Decree of the



Pic. 1. Positive effects generated by infrastructure projects on railway transport [compiled by the author].

## RESULTS

### Economic Effects

Studies of economic effects allow us to estimate the share of a particular industry in the economy at a certain point in time and give an idea of their relationships. In this case, the generated effects are divided into direct and indirect ones. The former effects are measured in terms of gross value added (GVA), which is the difference between the cost of an industry's output and the cost of the inputs necessary to produce it. Indirect effects consider the demand that is formed in sectors that produce resources for the railway industry and supply it. For example, a railway operator may purchase telecommunications equipment, which will increase demand in that sector and in turn will require plastics, metals, and other materials to manufacture the equipment. With an increase in transportation volumes, there is a corresponding increase in the costs of intermediate products (fuel, electricity, materials, etc.), which leads to an increase in production in related industries. Further, through the costs of related industries, there is growth in almost the entire economy. The increase in gross output is accompanied by a corresponding increase in income: in taxes, wages, profits, which are redistributed and transformed into an increase in the final demand of the state, business, and the population [5].

The real estate market should be singled out as one of the important areas of impact: construction of new infrastructure can lead both to a fall in real estate prices (due to an increase in noise levels, changes in scenic view parameters, environmental pollution) and to their growth (improvement of transport accessibility and time saving) [6].

The cumulative economic effect of investments consists of increments in gross output by sectors of the economy at the investment stage and at the operation stage and consists of three elements<sup>2</sup>:

<sup>2</sup> Methodology for assessing the socio-economic effects of construction (reconstruction) and operation of transport infrastructure facilities planned for implementation with involvement of federal budget funds, as well as with the provision of state guarantees of the Russian Federation and tax benefits: approved by Decree of the Government of the Russian Federation dated November 26, 2019, No. 1512.

1. Growth in the gross value added of the industry that provides the output of the  $i$ -th type of national products.

2. Growth in gross value added created by the trade and transport industries that provide the supply of the  $i$ -th type of product.

3. Growth in gross value added created by related sectors of the economy that provide the production of the  $i$ -th type of national products.

At the operational stage, a fourth element is added to them:

4. The increase in gross value added created by the direct participant in the infrastructure project at the operational stage, which is calculated through the total increase in revenue of the direct participant in the infrastructure project from the sale of goods, works, services of the  $i$ -th type.

### Social Effects

Despite the importance of evaluating economic effects, the impact of railway projects on the social sphere cannot be ignored. This influence can be both negative and positive. As a rule, any transport projects are associated with the following negative impacts:

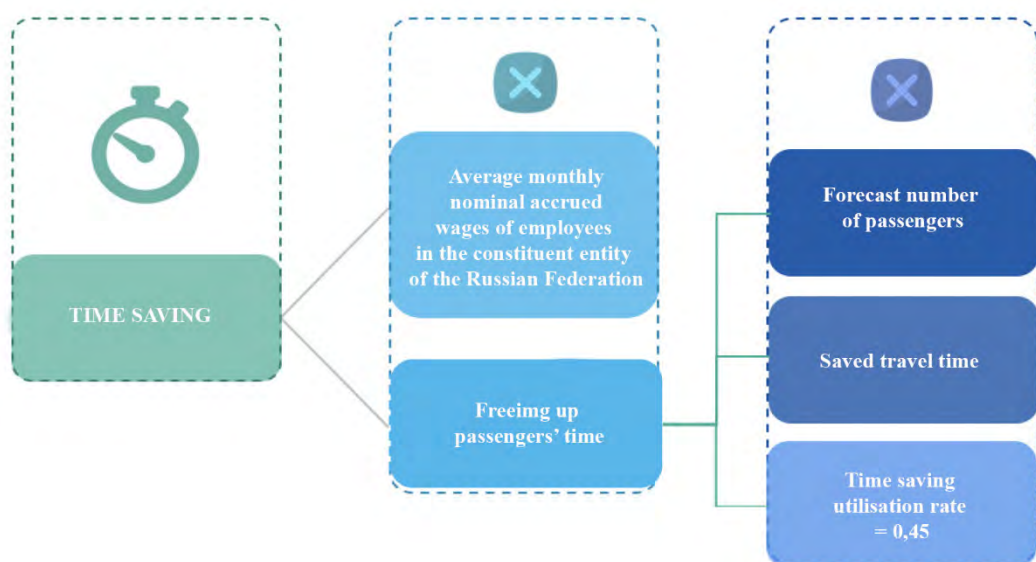
- Accidents.
- Environmental pollution.
- Climate change.
- Increase in noise level.
- Growth of energy production costs.
- Negative impact on nature and landscape.

However, with an alternative choice, different projects (modes of transport) can also generate a positive impact (Pic. 1):

- Travel time saving for passengers and haulage.
- Improving the safety of passenger and cargo transportation.
- Reduction of emissions of harmful substances and noise level (when choosing alternative options).
- Beneficial effects of public transport due to increased physical activity.
- Social integration and barrier-free environment.
- Subjective wellbeing – the perception of the world around, or the level of happiness.

The final effect of the project implementation can be obtained by comparing the potential benefits and costs, including through a comparison of various alternatives.

The monetary assessment of the last four effects is complicated by intangible nature and



*Pic. 2. Calculation of the monetised effect of travel time saving for passengers [compiled by the author].*

is not provided for by the Methodology approved by Decree of the Government of the Russian Federation of November 26, 2019 No. 1512.

### Time Saving<sup>3</sup>

Reliable and fast travelling (and, consequently, high availability) in large cities with a population of more than 250 thousand people can only be provided by public transport, the development of which should be focused on achieving the following consumer properties [5]:

- Reliability (guaranteed share of trips in accordance with planned waiting and trip times).
- Accessibility (geographical availability and price affordability).
- Comfort.

Calculations of the socio-economic effects generated by implementation of projects for development of urban public transport systems use quantitatively measurable indicators that are directly related to the projects. First, these parameters include the time saved by passengers. This effect is formed by the following elements (Pic. 2):

- Saving of passengers' time during implementation of the infrastructure project, that is estimated depending on the region and route.
- Average monthly nominal accrued wages of employees in the constituent entity of the

Russian Federation where the infrastructure project is being implemented.

Thus, for the assessed railway project, the time savings of passengers attracted from road and urban passenger transport (metro, surface urban transport and intercity passenger transport) can be estimated. The quantification of time saving effects depends on several factors:

- Points of departure and destination.
- Time of day when trips are made.
- Transit capacity and layout of the road network.
- Location of stations.
- Frequency of railway transportation.
- Available alternative modes of transport: buses, walking and cycling routes.

These factors vary from city to city and change over time. As a rule, time saving effects are estimated using models that simulate the transport network and its operation in a particular city or locality. According to a study by Deloitte [7], in Australia, every car trip that is replaced by a railway trip reduces travel time for other road users by about 7–27 minutes. For example, for Sydney this means the following: if all trips of a person to and from work are transferred from car to railway, the savings in time for other road users will be 3 days and 18 hours per year; for 1000 people it will make 10 years and 3 months.

The opportunity costs of travel time (which could otherwise be used for other purposes) can also be estimated. In Australia, business

<sup>3</sup> The assessment should take into account the type of railway transport; in this study only passenger traffic is considered.



**Table 1**
**Correction factors for accounting of unregistered accidents**

|             | Deaths | Serious injuries | Minor injuries |
|-------------|--------|------------------|----------------|
| Cars, buses | 1      | 1,25             | 2              |
| Motorcycles | 1      | 1,55             | 3,2            |

Sources: [8; 9].

travel time is estimated at 129,8 % of average weekly income (AWE) and travel time to and from work and the time of all other trips is estimated at 40 %. Assuming 10 % of trips are for business purposes, the weighted average value of time saved per trip is estimated at \$ 20 (private trips at \$ 16,32, business trips at \$ 52,96).

The monetised travel time savings effect for the economically active population is calculated as the sum of discounted travel time savings. The average coupon rate of bonds of the region where the project is being implemented can be used as the discount rate.

It should also be considered that traffic congestion increases fuel consumption and, as a result, leads to air pollution and greenhouse gas emissions, which entail additional costs for the entire society. Ecological effects will be discussed in more detail in a separate section.

### Safety Improvement

Accidents affect all modes of transport and lead to significant costs, which are divided into five main components:

- Evaluation of pain and suffering caused by traffic accidents. In the case of injuries, these costs cover the pain and suffering of the victim, and in the case of deaths, the loss of the victim's utility.

- Medical costs: the cost of treating injured accident victims, including the cost of equipment and medicines. Medical expenses cover the period from the time of the accident until full recovery from the injury or, in the case of a fatal accident, until death. In many cases, some of these costs are already included in insurance payments.

- Administrative costs: costs covering the costs of the police, the Ministry of Emergency Situations and other emergency services (except health services) providing assistance at the scene of an accident. In addition, this category includes costs related to justice: legal costs, costs of prosecution of offenders, costs of litigation and insurance. Finally, this category also includes

administrative costs related to vehicle or health insurance.

- Loss of productivity: after an accident, victims cannot immediately return to work (or they never return to it). These costs consist of net production losses caused by reduced working hours and the cost of replacing human capital. The inability to perform «non-market» work, such as housework or volunteering, is also included in this cost component.

- Property damage consists of the monetary value of damage to vehicles, infrastructure, cargo, and personal property resulting from accidents. It is assumed that this component is fully considered by road users through insurance.

- Miscellaneous costs: This category covers expenses related to traffic congestion, unavailability of vehicles and funeral arrangements. In European practices, this category of costs is not considered since most of them are taken into account through other categories of external costs, or do not belong to external costs at all.

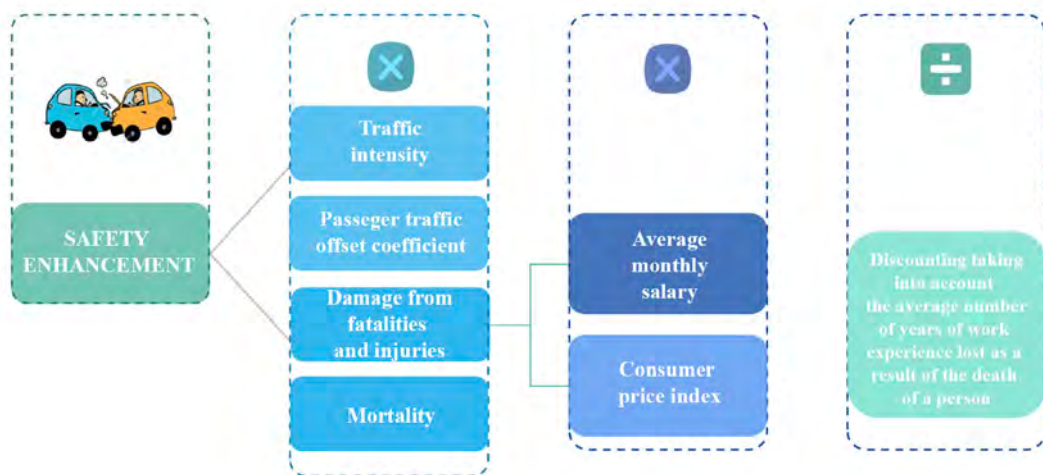
Accident prevention costs are not included in the cost of accidents because they are not (directly) the result of road traffic accidents but are intended to reduce the accident rate. In addition, they are (partially) included in road infrastructure costs.

It should be noted that the mortality and the number of injured in official statistics reflect only registered accidents. However, some road accidents are not registered. In European practices, official data on road traffic accidents are adjusted to account for these unreported crashes. The applied correction factors are presented in Table 1.

According to the Methodology approved by the Government of the Russian Federation, the assessment of losses resulted from road traffic accidents is based on the following parameters (Pic. 3):

- Average annual traffic intensity, passengers/day.

- Coefficient of displacement of passenger traffic from the existing to the proposed route



Pic. 3. Calculation of the monetised effect of saving travel time for passengers [compiled by the author].

during the implementation of the infrastructure project.

- Average socio-economic damage from fatalities and injuries resulted from road traffic accidents.

- The number of deaths and injuries in road traffic accidents per 1 million passengers per year.

The key variable in this case is the offset coefficient: rate of displacement of passenger traffic from the existing to the proposed route of movement. Reducing travel time and improving service when using railway transport have a significant impact on attracting additional passenger traffic, including previously immobile population, as well as on increasing the mobility of the existing and prospective populations gravitating towards railway lines.

### Environmental Effects

In terms of environment, there are several areas of impact:

1. Air emissions.
2. Noise level.
3. Energy production costs.
4. Impact on nature and landscape.

*Emissions of pollutants* into the atmosphere can lead to several types of damage [10]:

- Health effects: inhalation of air pollutants such as PM10, PM2.5 particles and nitrogen oxides ( $\text{NO}_x$ ) increases the risk of respiratory and cardiovascular diseases (e.g., bronchitis, asthma, lung cancer). These negative health outcomes result in medical costs, job losses and, in some cases, death.

- Yield losses: ozone as a secondary air pollutant and other acidic air pollutants (e.g.,

$\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ) can damage crops, entail lower yields (e.g., of wheat).

- Property and building damage: air pollutants can lead to (a) contamination of building surfaces; to (b) damage to building facades and materials due to corrosion processes caused by acidic substances (for example, nitrogen oxides  $\text{NO}_x$  or sulphur oxide  $\text{SO}_2$ ).

- Loss of biodiversity: air pollutants can damage the ecosystem by (a) acidification of soil, precipitation and water (e.g.  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ) and by (b) pollution of waters by algae (e.g.,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$ ).

Different modes of transport are characterised by different levels of harmful emissions. As can be seen from Table 2, from an environmental point of view, railways have a clear advantage.

*Noise emission* from transport is a growing environmental problem due to a combination of a trend towards greater urbanisation and an increase in traffic volumes. While increased traffic leads to higher noise levels, growing urbanisation means that more people experience noise discomfort. In the future, the negative effects of road noise may increase despite potential improvements in related vehicle performance. In general, noise can be defined as unwanted sounds of varying duration and intensity that cause physical or psychological harm to a person.

Noise level is measured in decibels (dB). Within the human hearing range, deep and very high tones of the same intensity are perceived as less noisy. Decrease or doubling the amount of traffic results in a 3 dB change in noise level, regardless of the current traffic. That is, an increase in traffic volume from 50 to 100 vehicles



Air pollution costs

| Mode of transport          | €-cent / passenger-kilometre | €-cent / car-kilometre |
|----------------------------|------------------------------|------------------------|
| Car                        | 0,71                         | 1,14                   |
| – petrol engine            | 0,33                         | 0,53                   |
| - diesel engine            | 1,18                         | 1,9                    |
| Motorcycle                 | 1,12                         | 1,17                   |
| Bus                        | 0,76                         | 14,19                  |
| Intercity bus              | 0,73                         | 14,34                  |
| High speed passenger train | 0,002                        | 0,66                   |
| Passenger electric train   | 0,01                         | 1,14                   |

Source: [10, P. 50].

leads to the same increase in noise levels as an increase from 500 to 1000 vehicles. An important aspect is the time of day when noise occurs. It is assumed that evening and night noise causes more inconvenience than noise during the daytime [11].

The thresholds above which noise is considered a nuisance are somewhat arbitrary, with the most commonly used values being 50, 55 and 60 dB. In this case, the choice of the threshold has a significant impact on the estimation of marginal costs. Several studies have all shown that railway noise is perceived as less nuisance than road noise. Therefore, a «discount» of 5 dB can be given to railway transport when identifying the threshold rate. However, in European practices, this approach is not used [10].

Noise exposure has a negative impact on health and can lead to development of the following diseases [11; 12]: ischemic heart disease; stroke; dementia; hypertension; irritation.

Annoyance is the anxiety that people experience when they are exposed to traffic noise. It can interfere with certain activities, which can lead to various negative reactions, including frustration, anxiety, exhaustion, and sleep disturbance [12]. However, irritation is measured differently than other «classic» health effects and is therefore considered separately. The following additional negative effects may occur: loss of performance productivity (e.g. due to loss of concentration), impact of traffic noise on the environment (e.g. harmful effects on wildlife), direct material losses due to vibrations.

To be able to attribute total noise costs to each mode of transport, it is necessary to know the

total number of kilometres travelled by each type of vehicles. However, noise from some types of vehicles (e.g., trucks) is considered more annoying than noise from others (e.g., cars).

Besides the direct externalities generated by transport, there are several indirect *costs of energy production*. Vehicle production, infrastructure construction, maintenance and disposal all lead to the release of air pollutants, greenhouse gases, toxic substances, and other negative environmental impacts. By far the most significant impacts are the emissions associated with energy production: extraction of energy sources, processing (e.g., refining, or power generation), transportation and transmission, construction of related infrastructure. The effect of energy production is very important, first, for electric vehicles since there are practically no emissions during their operation.

There are two types of input values for calculating the energy production costs: emissions of harmful substances and damage from the monetisation of emissions. The former costs include emissions of greenhouse gases and air pollutants generated during energy production. The costs of monetising emissions consist of the costs of air pollution and the costs of climate change.

*The negative impacts of transport on nature and landscape* can be described in the following terms:

- Loss of habitat: transport infrastructure requires land and/or natural surfaces. Consequently, transport infrastructure leads to the loss of natural ecosystems, which are the life environment for plants and animals. Habitat loss occurs during the construction phase of transport

Table 3

Noise-related costs per different modes of transport

| Mode of transport          | €-cent / passenger-kilometre | €-cent / car-kilometre |
|----------------------------|------------------------------|------------------------|
| Car                        | 0,6                          | 0,9                    |
| - petrol engine            | 0,5                          | 0,8                    |
| - diesel engine            | 0,6                          | 0,9                    |
| Motorcycle                 | 9                            | 9,4                    |
| Bus                        | 0,4                          | 8                      |
| Intercity bus              | 0,2                          | 4,7                    |
| High speed passenger train | 0,3                          | 97                     |
| Passenger electric train   | 0,8                          | 106                    |

Source: [10, P. 81].

infrastructure but will continue throughout the life of the infrastructure.

- **Habitat fragmentation:** transport infrastructure can also have additional effects expressed in fragmentation and separation for animals. These fragmentation effects can negatively affect the natural habitat of certain species and lead to adverse consequences for them. Habitat fragmentation adversely affects large wild mammals such as deer, as well as rabbits, badgers, etc., and smaller animals such as amphibians.

- **Habitat degradation due to emissions:** habitat degradation can also occur due to the release of other toxic substances (e.g., heavy metals) into the atmosphere.

### Health Effects

The use of public transport can have a positive impact on the health of population through the additional physical activity required to get to a public transport stop and then to the final destination. For example, using data from Australian public transport riders, Barr *[et al]* [13] found that public transport availability positively correlated with recommended walking levels. The health benefits associated with physical activity tend to result in reduced risk of cardiovascular disease, type 2 diabetes, certain cancers, and osteoporosis. Other health benefits include reduced obesity, decrease in high blood pressure and high cholesterol levels, and mental health benefits.

According to Deloitte [7], walking generates benefits ranging from \$ 0,41 to \$ 2,29 per kilometre (2015–2016 prices). The Infrastructure Australia, based on a willingness-to-pay study,

determined this value to be \$ 2,93 per kilometre (2015–2016 prices). This cost reflects the value people are willing to pay to reduce morbidity and mortality.

The main difficulty lies in quantifying the total annual distance walked by train users. In Sydney, for example, they walked 301 million kilometres in 2016, generating \$ 881 million in health benefits, or \$ 6,62 per train passenger.

### Social Integration

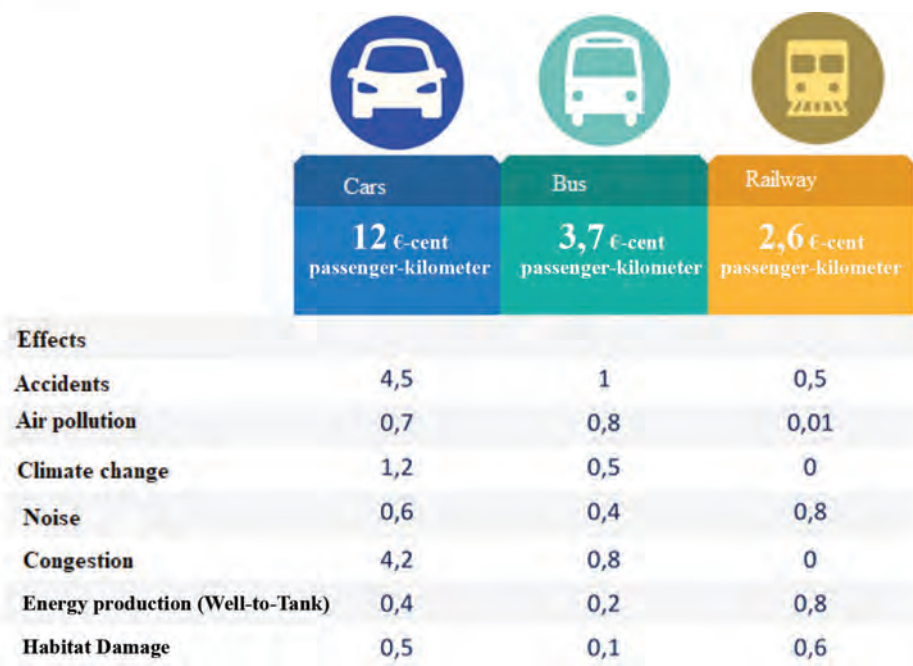
Transport infrastructure is fundamental to achieving social inclusion by reducing barriers that make it difficult for people to fully participate in the life of the society. Mobility is a key aspect of social inclusion and characterises the ability to access work, education, health care, shops, other public services and participate in social activities.

Compared to the individual car or motorcycle, which are expensive to own, register, and insure, and are out of reach for the very young and older people, rail transport looks favourably. The UK Department for Transport identifies the following main groups potentially benefiting from local public transport [14]:

- People with low incomes and the unemployed, including part-time workers and people claiming government benefits.
- People living in remote (rural) areas.
- People with disabilities, including people with physical disabilities, sensory impairments, and people with mental disorders.
- Elderly people.
- Youth and children.

Monetary assessment of social inclusion is most often carried out using the willingness to pay (WTP)





Pic. 4. Assessment of the negative effects of infrastructure projects in the field of passenger transport in Europe, 2016 [10, P. 160].

methodology. Stanley [et al] [15] conducted a series of personal interviews in Melbourne with 443 adults. The results of the survey showed that people at increased risk of social isolation make fewer trips per day. For an average household income level, the willingness to pay for an additional trip is up to \$ 20 (2010 adjusted prices). This score decreases as income increases since people with higher incomes tend to make more trips.

### Perception of Life and Level of Happiness

The study of the so-called «wellbeing» is usually based on surveys of the population and the willingness of citizens to pay for certain improvements, including in transportation.

For example, Prud'homme [et al] [16] developed a public transport congestion cost curve for the Paris metro based on 2009 data. Estimated willingness to pay for free travel (without congestion) was equal to 1,43 euros per trip.

A study by Clark [et al] [17] showed that an increase in one-way travel time by 10 minutes had the same impact on job satisfaction as a 19 % decrease in gross personal income. This equates to a reduction of £4,080 in annual gross personal income for an employee earning an average of £ 21,600.

According to Wu [18], the improvement in railway accessibility is estimated at an average of 528 yuan (\$ 1 for 6,5 yuan at the ratio as of

the date of writing) per month. This means that the improvement in wellbeing due to transport accessibility can be estimated at 8,1 % of the average monthly household income. At the same time, subjective wellbeing benefits from improved transport accessibility differ significantly depending on the income level of the population and urban districts. For example, the average wealth for households with 20 % income is about 163 yuan per month, compared to 898 yuan for households with 80 % income.

### CONCLUSIONS

The paper has considered the social effects generated by railway transport. Even though at the initial stage any transport projects are perceived negatively (harm to the environment, increased noise levels, etc.), a deep comparative analysis shows the superiority of rail transportation in a number of parameters (Pic. 4). Data reported by Deloitte [7] confirm the superiority of railway transport in terms of generated effects:

- Each kilometre travelled by car or motorcycle, rather than by railway, results in the emission of an additional 0,05 kg of CO<sub>2</sub> equivalent.
- At a cost of \$ 59,53 per ton of CO<sub>2</sub> equivalent, each kilometre travelled by rail instead of a car saves 0,27 cents on emissions.

• Cost of accidents on road transport (\$/km) is of 0,1062, while on railways it is of 0,0139, so road transport generates almost eight times more road traffic accident costs per kilometre than railway; each rail trip that replaces a car trip reduces accident costs by about \$ 1,40. The cost of one fatal accident (value of statistical life) is \$ 8,8 million.

The effects identified in the work should be considered by government and private investors when selecting and approving projects, as well as when making decisions on funding, which will ultimately improve efficiency and save budgetary resources. Further research in this area can be aimed at developing approaches to the quantitative and monetary assessment of these effects, considering countries' and regional features.

## REFERENCES

1. Lapidus, L. V. Socio-economic effects of high-speed railway communication [*Sotsialno-ekonomicheskie efekty vysokoskorostnogo zheleznodorozhnogo soobshcheniya*]. *Ekonomika zheleznikh dorog*, 2013, Iss. 12, pp. 58–63. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20725623>. Last accessed 14.09.2022.
2. Macheret, D. A., Razuvaev, A. D. Economic appraisal of development of high-speed transport infrastructure. *Ekonomika zheleznikh dorog*, 2018, Iss. 6, pp. 48–57. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35103887>. Last accessed 14.09.2022.
3. Evaluation of large infrastructure projects. Tasks and solutions. Moscow, Centre for Strategic Research Foundation, 2013, 108 p. [Electronic resource]: <https://www.rzd.ru/api/media/resources/c/1/121/7171?action=download>. Last accessed 14.09.2022.
4. Frolova, O. N. Macroeconomic Approach to Justification of Transport Projects. *World of Transport and Transportation*, 2017, Vol. 15, Iss. 5, pp. 118–129. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1309/0>. Last accessed 14.09.2022.
5. Centre for Infrastructure Economics. Transport infrastructure and economic growth. Moscow, Pero publ., 2019, 142 p. ISBN 978-5-00150-604-1. [Electronic resource]: <https://ecfor.ru/publication/transportnaya-infrastruktura-i-ekonomicheskij-rost/>. Last accessed 14.09.2022.
6. D'Acci, L. Monetary, Subjective and Quantitative Approaches to Assess Urban Quality of Life and Pleasantness in Cities (Hedonic Price, Willingness-to-Pay, Positional Value, Life Satisfaction, Isobenefit Lines), 2013, pp. 1–28. DOI: 10.1007/s11205-012-0221-7.
7. Deloitte Access Economics. Value of Rail: The contribution of rail in Australia. A report commissioned by the Australasian Railway Association (ARA), 2017, 80 p. [Electronic resource]: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/au/Documents/Economics/deloitte-au-economics-value-rail-contribution-australia-161117.pdf>. Last accessed 14.09.2022.

8. Bickel, P., Friedrich, R., Burgess, A. [et al]. Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment (HEATCO), Deliverable D5: Proposal for Harmonised Guidelines–Stuttgart. IER, Germany, Stuttgart, 2006a. [Electronic resource]: [https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/20130122\\_113653\\_88902\\_HEATCO\\_D5\\_summary.pdf](https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/20130122_113653_88902_HEATCO_D5_summary.pdf). Last accessed 14.09.2022.
9. Bickel, P., Arampatzis, G., Burgess, A. [et al]. Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment (HEATCO) Deliverable D7: Case Study Results Stuttgart, IER, University of Stuttgart, 2006b. [Electronic resource]: [https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/20090918\\_161442\\_29356\\_HEATCO%20-%20Final%20Report.pdf](https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/20090918_161442_29356_HEATCO%20-%20Final%20Report.pdf). Last accessed 14.09.2022.
10. Handbook on the external costs of transport. European Commission, Version 2019. [Electronic resource]: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/9781f65f-8448-11ea-bf12-01aa75ed71a1/language-en>. Last accessed 14.09.2022.
11. Environmental Noise: Valuing impacts on: sleep disturbance, annoyance, hypertension, productivity and quiet. London, Defra, 2014, 57 p. [Electronic resource]: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/380852/environmental-noise-valuing-impacts-PB14227.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/380852/environmental-noise-valuing-impacts-PB14227.pdf). Last accessed 14.09.2022.
12. Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe. *WHO European Centre for Environment and Health, Copenhagen*, 2011, 128 p. [Electronic resource]: <https://docs.wind-watch.org/WHO-burden-of-disease-from-environmental-noise-2011.pdf>. Last accessed 14.09.2022.
13. Barr, A., Bentley, R., Simpson, J. A., Scheurer, J., Owen, N., Dunstan, D., Thornton, L., Krnjacki, L., Kavanagh, A. Associations of public transport accessibility with walking, obesity, metabolic syndrome and diabetes. *Journal of Transport & Health*, 2016, Vol. 3, Iss. 2, pp. 141–153. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jth.2016.01.006>.
14. Valuing the social impacts of public transport. Final report. Department of Transport, 2013, 153 p. [Electronic resource]: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/226802/final-report.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/226802/final-report.pdf). Last accessed 14.09.2022.
15. Stanley, J., Hensher, D., Stanley, J., Currie, G., Greene, W., Vella-Brodrick, D. Social Exclusion and the Value of Mobility. *Journal of Transport Economics and Policy (JTEP)*, 2011, Vol. 45, Iss. 2, pp. 197–222 (26). [Electronic resource]: [https://www.researchgate.net/profile/Dianne-Vella-Brodrick/publication/233635852\\_Social\\_Exclusion\\_and\\_the\\_Value\\_of\\_Mobility/links/5420059e0cf203f155c29a18/Social-Exclusion-and-the-Value-of-Mobility.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Dianne-Vella-Brodrick/publication/233635852_Social_Exclusion_and_the_Value_of_Mobility/links/5420059e0cf203f155c29a18/Social-Exclusion-and-the-Value-of-Mobility.pdf). Last accessed 14.09.2022.
16. Prud'homme, R., Koning, M., Lenormand, L., Fehr, A. Public transport congestion costs: The case of the Paris subway. *Transport Policy*, 2012, Vol. 21, pp. 101–109. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2011.11.002>.
17. Clark, B., Chatterjee, K., Martin, A., Davis, A. How commuting affects subjective wellbeing. *Transportation*, 2019, Vol. 47. DOI: 10.1007/s11116-019-09983-9.
18. Wu, Wenjie. Rail access and subjective well-being: Evidence from quality of life surveys. *Journal of Comparative Economics*, 2015, Vol. 43, Iss. 2, pp. 456–470. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jce.2014.03.009>.

### Information about the author:

**Solntsev, Ilya V.**, D.Sc. (Economics), Chief Researcher, Department of Management and Innovation of Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia, [ilia.solntsev@gmail.com](mailto:ilia.solntsev@gmail.com).

Article received 02.08.2022, approved 14.09.2022, accepted 16.09.2022.





# Sample Survey of Passenger Traffic by Analysing Wi-Fi Data in Moscow Transport Hub. Part 2



**Nikolai Yu. Alekseev**

Sitronics Group, Moscow, Russia.

✉ [alekseev-trn@mail.ru](mailto:alekseev-trn@mail.ru).

Nikolai Yu. ALEKSEEV

## ABSTRACT

In modern, rapidly developing cities of the world, building an urban transport model requires traffic data. The lack of those data does not allow making timely management decisions on distribution of passenger flows, namely within transport flows.

Currently, there are various methods and systems for counting passenger flows, such as the manual staff counts, survey and counted ticketed entries methods, and various automated technology-based systems. However, those well-known methods have their drawbacks.

For this reason, the task to search for alternative methods and data sources for the study of passenger flows remains relevant.

This article is based on the updated results of the study recently conducted by the author during preparation of his master's thesis. During the study and developing previous author's papers, data on connections of passengers to Wi-Fi routers were chosen as a data source. Since this phase of the study was conducted on the territory of Moscow transport hub,

in metro and on Moscow Central Diameters (MCD), where the cars are equipped with great number of Wi-Fi routers, with free connection and Internet access, it has increased the sample Wi-Fi data array significantly.

The objective of the study was to study the possibility of processing Wi-Fi data obtained from Wi-Fi scanners as a passenger flow analysis tool.

The study has revealed that, on average, up to 40 % of passengers in metro and MCD cars on the studied lines use the Wi-Fi module turned on in their mobile devices.

The results of the study have confirmed that Wi-Fi data can be used as a tool for passenger traffic analysis, but at the same time revealed the necessity to integrate them with other data sources, as well as the strong dependence of the result of Wi-Fi data processing on the technical features of the Wi-Fi scanner and its location in the vehicle during experiments.

This issue contains the second part of the article.

**Keywords:** transport, urban public transport, urban mass transit, metro, city railway, passenger flow, data analysis, Wi-Fi analytics.

**Acknowledgements:** the author expresses his sincere gratitude to Pavel V. Zyuzin, Ph.D. (Geography), Senior Researcher at the National Research University Higher School of Economics, for his inestimable assistance in conducting the study and in preparing publication of its results.

**For citation:** Alekseev, N. Yu. Sample Survey of Passenger Traffic by Analysing Wi-Fi Data in Moscow Transport Hub. Part 2. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 4 (101), pp. 184–204. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-4>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.  
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

## World Experience in the Field of Wi-Fi Analytics

Given the growing number of Wi-Fi devices and Wi-Fi equipment within the territory of Moscow agglomeration, it was necessary to solve the problem of systematising the existing methods of collecting data in the field of Wi-Fi analytics.

## The Case of the Hong Kong Polytechnic University

A relevant case can be studied using the example of the Hong Kong Polytechnic University (PolyU). The empirical data were collected by the author during academic internship from August through November 2018.

There were 12 Wi-Fi/Bluetooth scanners on the territory of the university, designed to monitor pedestrian flows. Besides the stationary Wi-Fi/Bluetooth scanners, video cameras were installed. For the study, the author was provided access to all 12 Wi-Fi scanners, namely, to the daily upload of Wi-Fi and video data.

The main task was to study the pedestrian flows before and after construction of the pedestrian bridge. At the time of the study, there was an underground pedestrian crossing under the highway between the main buildings of the university and the administrative building. The pedestrian bridge, once built, would be an alternative way to move between the main buildings and the administrative one.

The core of the study was to process the so-called MAC addresses. The MAC address, as it is well known, is a six-digit device code (AA: BB: CC: DD: EE: FF) assigned by the device manufacturer. Each hardware manufacturer that manufactures products for use on the Internet assigns a unique MAC address to each device that is released. Each manufacturer has a different number of MAC addresses. The first three values of any MAC address (AA: BB: CC: \_\_: \_\_: \_\_) can be used to identify the manufacturer of the equipment. The next three values (\_\_: \_\_: \_\_: DD: EE: FF) are rather different and unique to each device.

The first two months were devoted to the analysis and processing of Wi-Fi data. To assert that the recorded MAC address belongs to a specific device, and a specific device, respectively, is kept by a potential pedestrian, the researcher studied time periods and compared them with video camera data. In practice, this happened as follows: the researcher chose two

Wi-Fi scanners, which were located at the entry and at the end of the pedestrian underpass. Also, in addition to the Wi-Fi scanners there were two video cameras located in the immediate vicinity of them. Accordingly, 15–20-minute time lapses were analysed and then the received Wi-Fi data were compared with the video data. As a result, it was possible to identify the  $n$ -number of pedestrians by their MAC addresses. Pedestrians were moving in different directions, both towards the administrative building and back. The results of the study allowed to state that potential pedestrian flows and their directions can be determined based on the MAC address of the device and the received timestamp.

## Other Sources

The article [17] describes the results of the research in Nairobi, the capital of Kenya, where 42 Wi-Fi scanners were installed near the transport interchange hub to collect and analyse the received Wi-Fi data. The authors managed to determine the average number of mobile devices with the Wi-Fi module enabled, the range of detection of Wi-Fi devices, and to estimate the number of pedestrians (passengers) and their waiting time at public stops. Based on the data obtained, the authors proposed to local authorities to amend the rules for organising bus routes.

According to information obtained from open access sources<sup>1</sup>, in most cases, Wi-Fi scanners, also called Wi-Fi sniffers (traffic analysers) and Wi-Fi radars, are used in the Russian Federation at retail facilities, namely, in shopping centres to analyse potential buyers. A Wi-Fi «radar» is installed in the centre of the hall of a shop and scans all the MAC addresses of devices of the owners who enter and exit this particular room. This is based on the prevalence of free Wi-Fi in shopping centres, and, accordingly, of free Internet access, so that potential buyers can turn on the Wi-Fi module in their device (for example, in a phone, laptop, etc.).

In the article [18], the authors studied the technical characteristics of Wi-Fi scanners, namely the influence of antennas on the result of collecting Wi-Fi data. The resulting data were used to estimate travel times for pedestrians and cyclists.

The authors of another article [19] estimated the waiting time for public transport passengers

<sup>1</sup> Website of manufacturers of Wi-Fi radars. [Electronic resource]: <https://hot-wifi.ru/radar/>. Last accessed: 10.04.2022.



Table 2

Comparative characteristics of Wi-Fi scanners [compiled by the author based on equipment's characteristics]<sup>3</sup>

|                               | Meshlium Libelium Scanner | Wi-Fi TP-LINK router |
|-------------------------------|---------------------------|----------------------|
| Built-in software             | +                         | +                    |
| Built-in Wi-Fi antenna        | +                         | +                    |
| Built-in Bluetooth antenna    | +                         | —                    |
| External Wi-Fi antenna        | +                         | —                    |
| External Bluetooth antenna    | +                         | —                    |
| Access to equipment interface | +                         | —                    |
| Built-in PHP Admin            | +                         | —                    |
| Access to initial data        | +                         | —                    |

at the largest bus station in Tokyo, using the analysis of Wi-Fi devices. The authors created a method for estimating the time spent by passengers (pedestrians) and concluded that for obtaining more accurate Wi-Fi data, it is necessary to increase the number of observation sites and places for collecting Wi-Fi data.

The authors of the article [20] argue that easy access to the Internet along the route has a great potential to change the activities of passengers during the trip. Accordingly, in large cities the number of Internet users is increasing. Also, there is a possibility that new technologies can improve the quality of life but worsen the environment.

The authors of the article [21] studied the received Wi-Fi data from the point of their subsequent use to calculate passenger flow and concluded that this calculation requires a larger number of Wi-Fi devices. According to the authors, Wi-Fi data correlate with real passenger data, but Wi-Fi data, in their opinion, is not enough to display a complete picture of a particular passenger flow.

Thus, the studied sources have not allowed to find solutions and methods to estimate the routes of movement of potential public transport passengers that might be obtained based on Wi-Fi data.

The analysis of the public procurement website permitted to find a contract concluded in October 2020 for 152 million rubles<sup>2</sup> and aimed at development of an integrated information system for monitoring passenger traffic (CIS MP) as part of development of an intelligent transport system in Moscow. Under this contract, the supplier was bound to supply 20 mobile devices

for monitoring passenger traffic and 200 stationary Wi-Fi scanners. The supplier had to mount this equipment, develop software, and to provide maintenance of both installed equipment and software. A reporting module had also to be created, including development of heat maps and of a reporting on the number of users, and others.

### Research Methodology

To obtain a result, namely data on passenger flows, it was necessary to independently develop a research methodology that was based on the choice of a Wi-Fi scanner and development of a software for analysing Wi-Fi data in Microsoft Excel. The methodology integrated the choice of routes (research cases) and the time of measurements.

The study applied the equipment with the features shown in Table 2<sup>3</sup>.

Within the framework of the study, the Wi-Fi scanner was used as a dynamic one. Dynamic Wi-Fi scanner implies the use of a portable power source.

The chosen Wi-Fi scanner has various technical parameters, in particular, additional Wi-Fi / Bluetooth antennas that allow adjusting the operation of the Wi-Fi scanner. As part of this work, the researcher analysed only Wi-Fi data, the technical parameters of the Wi-Fi scanner were adjusted according to the study's task, experiments were conducted to improve the results. Bluetooth data are not analysed in the work.

Wi-Fi scanner was the source of initial data, and Wi-Fi router was the source of processed Wi-Fi data.

Wi-Fi scanner has various parameters that affect the final result of data processing. The first parameter is a timestamp (TimeStamp), that is,

<sup>2</sup> Official website of public procurement: Creation of an integrated information system for monitoring passenger traffic (CIS MP) as part of development of an intelligent transport system in Moscow. [Electronic resource]: <https://zakupki.gov.ru/epz/order/notice/ea44/view/common-info.html?regNumber=0173200001420001132>. Last accessed: 10.04.2022.

<sup>3</sup> The numbering of the tables consecutively continues the numbering in the first part of the article.

the time at which a device was detected, namely, when its MAC address was detected. The chosen Wi-Fi scanner has several types of scanning intervals. Until recently, the Wi-Fi scanner had the ability to scan every 15–90 seconds, but with the update of the Wi-Fi scanner software, it became possible to scan online. This type of scanning was chosen based on the assumption that it has a great influence on the result of data collection.

The second parameter received from the Wi-Fi scanner is the MAC address. Within the framework of the study, the MAC address was a unique parameter that allowed identifying a specific Wi-Fi device, and, accordingly, a potential passenger.

During the study, a database of the MAC addresses was cumulated referring to equipment of manufacturers, such as, for example, Apple, Samsung, etc. Accordingly, given that these manufacturers mainly produce mobile devices, laptops, and other personal gadgets, it was concluded that when devices are detected, with a high degree of probability, this device is with the user, namely, with a potential passenger. And accordingly, the MAC address of this Wi-Fi device could be considered as an attribute of a passenger. The database was replenished with MAC addresses of manufacturers of network equipment such as routers, etc., for example, of D-Link international, Cisco Systems and others. Later, such MAC addresses were identified as «noise» and «cleared» at the first stage of filtering since network equipment cannot be correlated with potential passengers.

Another most important issue was associated with the «randomisation» of MAC addresses<sup>4,5</sup>. Since a certain time, manufacturers of Wi-Fi devices have started to include in the software section of this device a possibility of «randomisation» of the MAC address. This technology is aimed to protect against Wi-Fi scanning to prevent from processing data and to reduce the efficiency of Wi-Fi data analysis. But after studying the sources [22], after a series of experiments and data analysis, it turned out that the existing randomisation is not used on all Android and iOS devices. Also, a lot depends on

the software of the device and the date of its release. There is no exact information about which device randomises MAC addresses and which does not randomise. Moreover, within the framework of this study, a unique MAC address was discovered, more precisely, its first three values characterising the manufacturer of the equipment and attributed to Google. These MAC addresses were not manufacturer-specific but did not change over the entire scan period. On average, within 40–50 minutes when Wi-Fi data were collected, the MAC address attributed to Google did not change. That is, the existing randomisation of MAC addresses is imperfect and does not significantly affect the result.

Also, it should be noted that the MAC address is a tonic parameter that has nothing to do with personal data and mobile operator data. The MAC address is assigned by the manufacturer, the user purchases this device with the MAC address already set<sup>6</sup>. That is, the MAC address is not in any way linked to the mobile phone number or vehicle number. Moreover, if the Wi-Fi search mode is turned off in the mobile device, the device will not be detected. The user independently decides whether he enables Wi-Fi module in his own device.

The third parameter is SSID. SSID (Service Set Identifier) is the name of the Wi-Fi device. According to the name of the Wi-Fi device, it is theoretically possible to determine a type of a device, e.g., a mobile phone or a scanner. For example, during each trip with a dynamic Wi-Fi scanner, a large amount of data was recorded from a network called MT\_FREE, which, by definition, is the name of Wi-Fi equipment in Moscow public transport network. Further, these MAC address data were deleted and not processed.

The fourth parameter is RSSI. RSSI (Received Signal Strength Indicator) is an indicator of the level of the received signal. This parameter is very important for the analysis of Wi-Fi data due to the possibility of determining an approximate distance from the Wi-Fi scanner to the Wi-Fi device. In the study, the RSSI parameter was in the range of -89 to -50 decibels. These indicators characterise the fact that all potential passengers were in close proximity to the dynamic Wi-Fi scanner.

<sup>4</sup> What really happens with MAC addresses' randomisation. [Electronic resource]: [habr.com/ru/post/375057/](http://habr.com/ru/post/375057/). Last accessed 10.04.2022.

<sup>5</sup> Everything you wanted to know about MAC address. [Electronic resource]: [habr.com/ru/post/483670/](http://habr.com/ru/post/483670/). Last accessed: 10.04.2022.

<sup>6</sup> Meshlium Technical Guide. Documentation of the Wi-Fi scanner. [Electronic resource]: <https://development.libelium.com/meshlium-technical-guide/general>. Last accessed 10.04.2022.



The fifth parameter is Vendor (manufacturer) described above.

### **Development of Software for Analysing Wi-Fi Data based on Microsoft Excel**

The software is the most important element of Wi-Fi data analysis. In the framework of the study, Microsoft Excel was chosen as the basis for the analysis and processing of Wi-Fi data.

The Wi-Fi scanner collected data online. The received timestamps were synchronised with the door opening mark in MCD and metro cars. The Wi-Fi scanner identified the timestamp with the MAC address. Further, it was compared with the time of opening the car doors. The researcher independently entered the data on the opening of the car doors into a table for each route. Also, the researcher at each MCD or metro station recorded the number of passengers in the car at a given time. Thus, the researcher, along with Wi-Fi scanning, used a visual method to count passengers and then compared the actual number of passengers in the car with Wi-Fi data.

All studies, namely collection and analysis of Wi-Fi data, were carried out exclusively by the author of the work.

### **Data Filtering**

The researcher created the following stages of data filtering and algorithms:

1. The first stage of filtering was intended to exclude Wi-Fi received from all Wi-Fi routers and other stationary Wi-Fi devices.

2. The second stage of filtering was intended to eliminate Wi-Fi data with one and the same timestamp.

3. Next, there was a stage of synchronisation of the Wi-Fi timestamp with the time of opening the car door.

Also, the data were selected to identify various properties of passenger flows such as the average travel distance and the average travel time of passengers. Data collection was carried out during morning peak hours.

### **Results of Empirical Study**

Data collection period: February through May 2021. The studied sections included routes in Moscow Metro and MCD.

The sections described in Tables 3 and 4 were chosen following the criteria below.

All four sections have different input parameters, which, according to the author, affect the results obtained.

#### *1. Route length.*

Sections No. 1, 2, 4 are over 20 km long, and section No. 3 is 8,8 km long. Section No. 3 is a complete route and has a transport interchange hub at the Ulitsa Starokachalovskaya station with a transfer to the Bulvar Dmitriya Donskogo station.

#### *2. Prevailing location of the line.*

Sections No. 2, 4 are underground metro sections, section No. 1 is ground one, and section No. 3 is both ground and underground. These sections of Butovskaya metro line were chosen due to their different technical characteristics, which may affect the transmitted signal.

#### *3. Nature of rolling stock coupling.*

The main feature of the obtained results was that in articulated cars the result after processing Wi-Fi data turned out to be better than in trains without passages. This is due to the specifics of Wi-Fi.

#### *4. Scanner location: floor level / upper rack.*

Location of Wi-Fi scanner has key importance for the entire result of the study. When the Wi-Fi scanner was located on the upper luggage rack of the car (section No. 1), the result turned out to be close to ideal, and, accordingly, when the Wi-Fi scanner was located on the floor in trains without passages, the result turned out to be the worst, but only in a car with closed doors.

As a result, out of four sections, the best result according to the received and processed data was the result obtained when the Wi-Fi scanner was located on the upper rack (section No. 1) and for a combination of an articulated car and a Wi-Fi scanner located on the floor (section No. 4). Accordingly, the worst result was obtained in trains without passages and when a Wi-Fi scanner was located on the floor (sections No. 2 and No. 3).

### **Section No. 1. Butovo station (MCD-2)– Moscow Kurskaya station (MCD-2)**

Data collection was carried out at the section No. 1, namely from station Butovo (MCD-2) to station Moscow Kurskaya (MCD-2) during the period from 1 to 5 March 2021. The length of this route was 29,2 km, and the average travel time was 48 minutes.

There are two transport interchange hubs on the route: Tsaritsyno station (MCD-2) and Tekstilshchiki station (MCD-2). The end point for the study was Moscow Kurskaya station (MCD-2), that in fact is also a transport interchange hub. Thus, that experimental section

Table 3

Studied sections [performed by the author]

| Sections | Metro line                       | Initial station of the study on the route | Terminal station of the study on the route | Number of routes processed during the morning rush hour | Length of the route (km) | Average travel time |
|----------|----------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------|
| 1        | MCD-2                            | Butovo                                    | Moscow Kurskaya                            | 3                                                       | 29,2                     | 00:48:00            |
| 2        | Zamoskvoretskaya line            | Alma-Atinskaya                            | Belorusskaya                               | 3                                                       | 27,9                     | 00:41:46            |
| 3        | Butovskaya line                  | Buninskaya alleya                         | Bitsevskiy park                            | 3                                                       | 8,8                      | 00:16:40            |
| 4        | Tagansko-Krasnopresnenskaya line | Kotelniki                                 | Barrikadnaya                               | 3                                                       | 25,1                     | 00:38:00            |

was used to study the features of data circulation in the areas of transport interchange hubs with a high turnover of passengers. Besides collecting Wi-Fi data, a visual measurement of the number of passengers in the car was carried out at a specific time, namely during opening and closing of car doors. The time of opening the doors and the number of passengers at the time of closing the doors of the car were recorded, thereby excluding passengers who had disembarked.

For uniformity of the study, all measurements were taken during morning peak hours, from 07:00 to 08:30 on weekdays.

To improve the result regarding section No. 1, the Wi-Fi data were also collected on the passengers who entered the starting station of the study (Butovo station (MCD-2)). Those data were collected some time before the arrival of the train near the turnstiles at the entrance to MCD-2 platform. The result depended on the location of the Wi-Fi scanner and the power of the antenna. Further, the researcher, upon the arrival of the train, entered the car, recorded the time of entry into the car, recorded the number of passengers in the car, and placed a dynamic Wi-Fi scanner on the upper rack of the car, being approximately in the middle of the car. Further, throughout the entire journey, the number of

passengers in the car and the time of opening the doors of the car were recorded.

After collecting Wi-Fi data, the researcher proceeded to their processing. Using the above data processing algorithm and filtering stages, the indicators shown in Pic. 3 were obtained.

Pic. 3 shows the percentage ratio between real number of passengers and calculated number of passengers with the Wi-Fi module turned on. As we see in Pic. 3 at such stations as Kuryanovo (43 %), Pererva (43 %) and Tekstilshchiki (45 %), the ratio of real passengers and passengers with the Wi-Fi module turned on amounted to almost 50 %, which is a fairly high result.

The next stage was devoted to the analysis of the routes of potential passengers. With the help of a Wi-Fi scanner, the start and end timestamps of MAC addresses of mobile devices were determined, which made it possible to identify potential start and end points of entry and exit of a passenger. Synchronisation of the timestamp of opening of car doors was compared with the timestamp from the Wi-Fi scanner. Due to the fact that the timestamp of the MAC address of the device differed from the timestamp of the door opening, comparison of these timestamps was made with an error of 30–40 seconds. That is, a potential passenger, namely the MAC address of his mobile device, could be detected

Table 4

Features of the selected sections [performed by the author]

| Sections | Route length over 20 km | Prevailing positioning of the line | Features of rolling stock coupling      | Scanner location: floor level / upper rack |
|----------|-------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1        | +                       | Ground                             | Articulated cars with a through passage | Upper rack                                 |
| 2        | +                       | Underground                        | CME (coupled cars without a passage)    | Floor level                                |
| 3        | -                       | Ground / Underground               | CME (two-car articulated sections)      | Floor level                                |
| 4        | +                       | Underground                        | Articulated cars with a through passage | Floor level                                |





Pic. 1. Image of section No. 1. [Electronic resource]: [https://yandex.ru/metro/moscow?scheme\\_id=sc34974011](https://yandex.ru/metro/moscow?scheme_id=sc34974011). Last accessed 10.04.2022.

both before entering the car and just after. But considering the first and end timestamps of the Wi-Fi device, it became clear that the period of permanent detection of the Wi-Fi device between the start and end points could be from 1,5 to 38 minutes.

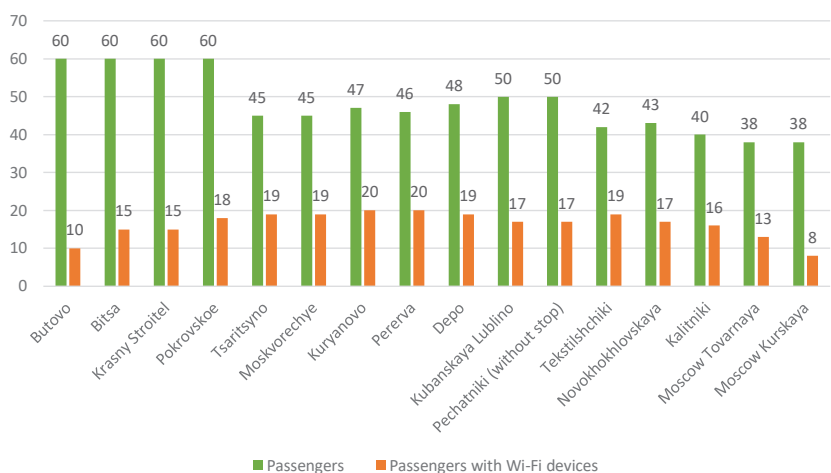
Thus, the routes of potential passengers with their initial and final timestamps were obtained. Detection of a timestamp of a unique MAC address was deemed to be the entry point to the car, and its loss was perceived as the exit point from the car.

It should be noted that there is a possibility that the Wi-Fi module of the device could be turned on after entering the car as well as it could

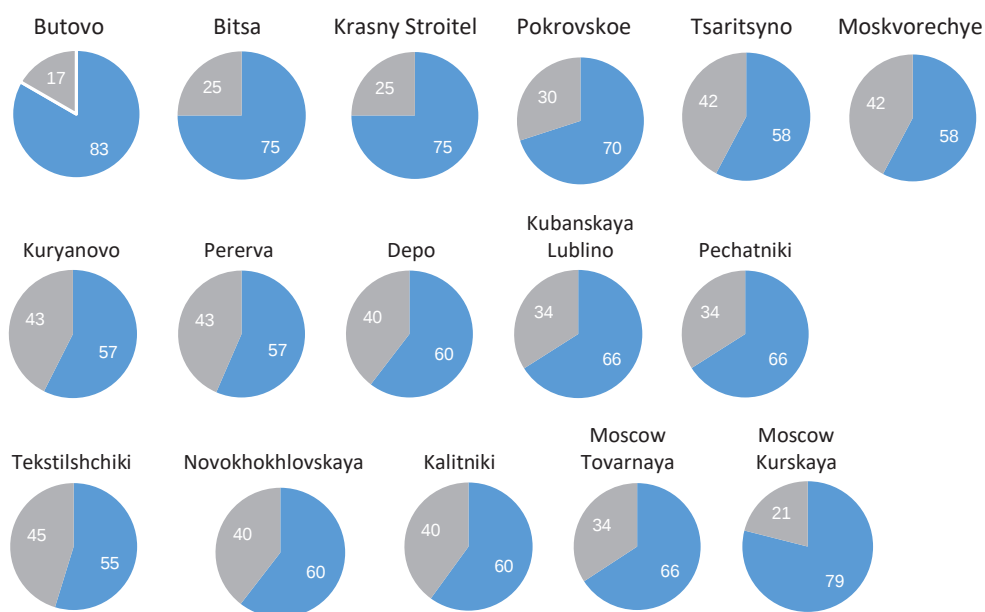
be turned off at any time. The researcher found it necessary to consider these cases as an error of the system since in this situation the human factor played an important role. But if a potential passenger turned on the Wi-Fi module later than the at the moment of entering the car, the calculation was made with the synchronisation with the nearest door opening timestamp, namely, with the nearest metro station (MCD).

With the help of the created algorithm, it was possible to determine 29 routes of specific users on section No. 1 in the considered case along the entire route. The results are shown in Pic. 4.

For each of 29 potential passenger routes, the following parameters were identified:



**Pic. 2.** The ratio of real number of passengers to the number of passengers with the Wi-Fi module turned on (indicated further on in the pictures as «Wi-Fi passengers»). MCD Butovo–Moscow Kurskaya section; morning rush hour. March 1, 2021 [performed by the author].



**Pic. 3.** The percentage ratio of the share of passengers with the Wi-Fi module turned on (grey/lighter sector) and the share of passengers with the Wi-Fi module turned off (blue/darker sector) [performed by the author].

- Travel time of a potential passenger.
- The distance travelled by the passenger.
- Starting point (entry into the MCD car).
- End point (exit from the MCD car).

So, on all 29 routes the average travel time was determined to be 23 minutes 35 seconds out of a maximum travel time of the entire measured section of 48 minutes, and the average travel distance was of 15,09 km (out of a total mileage of 29,2 km).

See the task to determine as many characteristics (parameters) of passenger traffic

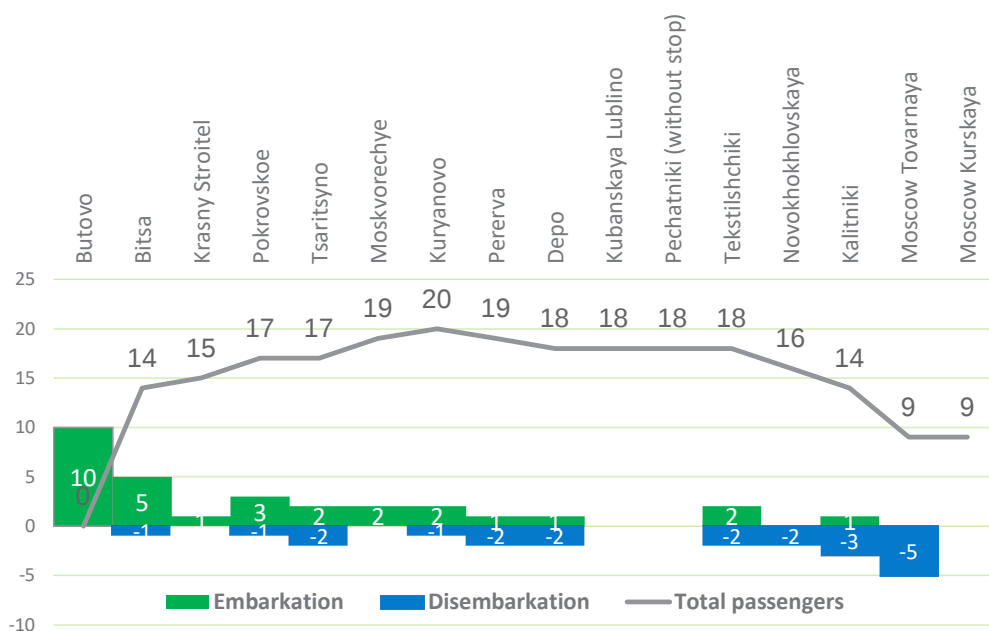
as possible, the next step was to analyse the number of passengers who travelled on the studied section. Pic. 5 shows the number of those passengers, as well as the number of passengers who entered and left the cars at the stations.

According to Pic. 6, it can be determined that more than 40 % of passengers with the Wi-Fi module turned on entered at Butovo station, or before it, since this station is not the starting one, and 20 % at embarked at Bitsa station.

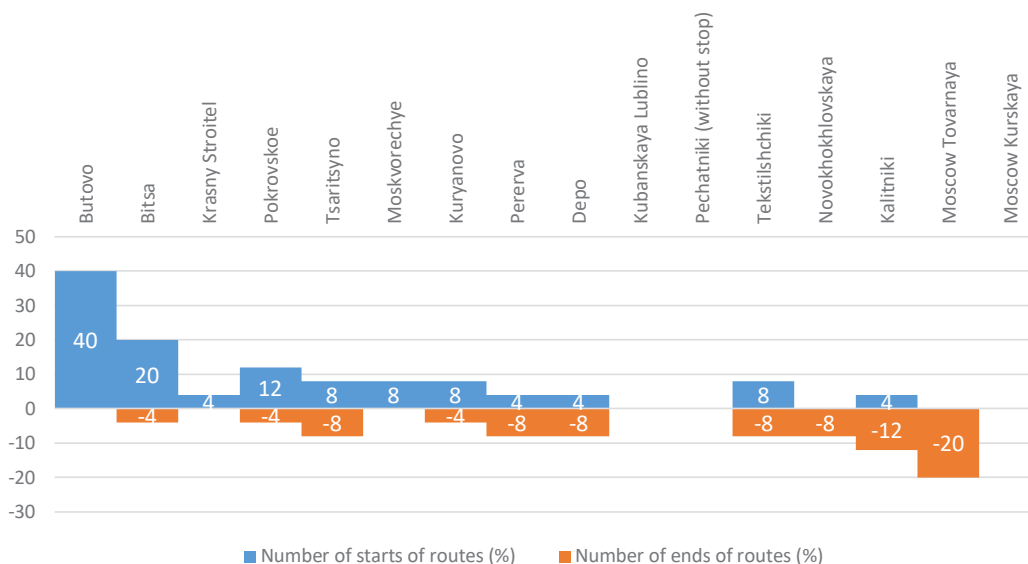


| Station              | Butovo  | Bitsa   | Krasny Stroitel | Pokrovskoe | Tsaritsyno | Moskvorechye | Kuryanovo | Pererva | Depo    | Kubanskaya Lubino | Pechatniki (without stop) | Tekstilshchiki | Novokhlokovskaya | Kaltniki | Moscow Tovarnaya | Moscow Kurskaya |
|----------------------|---------|---------|-----------------|------------|------------|--------------|-----------|---------|---------|-------------------|---------------------------|----------------|------------------|----------|------------------|-----------------|
| Number of passengers | 60      | 60      | 60              | 60         | 45         | 45           | 47        | 46      | 48      | 50                |                           | 42             | 43               | 40       | 38               | 0               |
| Time                 | 7:04:00 | 7:08:43 | 7:11:55         | 7:14:47    | 7:19:10    | 7:23:50      | 7:26:15   | 7:28:50 | 7:31:55 | 7:34:30           |                           | 7:38:15        | 7:41:30          | 7:44:05  | 7:46:45          | 7:52:00         |
|                      |         | 7:08:07 |                 |            |            |              | 7:26:46   |         |         |                   |                           | 7:37:28        |                  |          |                  | 7:50:23         |
|                      | 7:04:38 | 7:09:21 |                 |            |            |              |           |         |         |                   |                           | 7:39:49        |                  |          |                  |                 |
|                      |         |         |                 |            |            |              |           |         |         |                   |                           |                |                  |          |                  | 7:49:24         |
|                      | 7:05:27 |         |                 |            | 7:17:48    |              |           |         |         |                   |                           | 7:37:59        | 7:42:47          |          |                  |                 |
|                      |         |         |                 |            |            |              |           |         |         |                   |                           |                | 7:42:33          |          |                  |                 |
|                      | 7:07:25 |         |                 | 7:17:10    |            |              |           |         |         |                   |                           |                |                  |          | 7:45:21          |                 |
|                      | 7:05:33 |         |                 |            |            | 7:25:26      |           |         | 7:32:03 |                   |                           |                |                  |          |                  | 7:47:52         |
|                      |         |         |                 |            | 7:22:50    |              |           |         |         |                   |                           |                |                  | 7:42:46  |                  |                 |
|                      |         |         |                 |            |            |              | 7:27:19   |         |         |                   |                           |                |                  |          |                  | 7:52:11         |
|                      | 7:05:35 |         |                 |            |            | 7:24:33      |           |         |         |                   |                           |                |                  |          | 7:45:54          |                 |
|                      |         |         |                 |            |            |              |           |         |         |                   |                           |                |                  |          | 7:45:37          |                 |
|                      |         | 7:08:51 |                 |            |            |              |           | 7:27:19 |         |                   |                           |                |                  | 7:44:29  |                  | 7:52:00         |
|                      |         |         |                 | 7:15:01    |            |              |           | 7:28:16 |         |                   |                           |                |                  |          |                  |                 |
|                      |         |         |                 |            |            |              |           |         |         |                   |                           |                |                  | 7:45:37  |                  | 7:51:11         |
|                      |         | 7:06:38 |                 |            |            |              | 7:24:44   |         |         |                   |                           |                |                  |          |                  | 7:58:46         |
|                      |         |         | 7:13:48         |            |            |              |           |         |         |                   |                           |                |                  |          |                  |                 |
|                      | 7:07:36 |         |                 |            |            |              |           | 7:28:57 |         |                   |                           |                |                  |          |                  |                 |
|                      |         |         |                 |            | 7:15:40    |              |           |         |         |                   |                           |                |                  | 7:42:44  |                  |                 |
|                      | 7:05:17 |         |                 |            |            |              |           |         |         |                   |                           |                |                  |          | 7:44:49          |                 |
|                      | 7:01:44 |         |                 | 7:14:01    |            |              |           |         |         |                   |                           |                |                  |          |                  |                 |
|                      |         |         |                 | 7:16:40    |            |              |           |         |         |                   |                           |                |                  |          | 7:45:54          |                 |
|                      | 7:06:02 |         |                 |            |            |              |           |         | 7:31:59 |                   |                           |                |                  |          |                  |                 |
|                      |         | 7:08:52 |                 |            |            |              |           |         |         |                   |                           |                |                  |          |                  | 7:51:29         |
|                      |         | 7:09:58 |                 |            |            |              |           |         |         |                   |                           |                |                  |          |                  |                 |
|                      | 7:04:52 |         |                 |            | 7:17:50    |              |           |         |         |                   |                           | 7:38:01        |                  |          |                  |                 |

Pic. 4. Routes of passengers with the Wi-Fi module enabled on the section from Butovo station (MCD-2) to Moscow Kurskaya station (MCD-2). March 1, 2021 [performed by the author].



Pic. 5. Number of passengers on section No. 1 [performed by the author].



Pic. 6. Percentage ratio of number of starts and ends of routes [performed by the author].

The Pic. 7 shows the information on distribution of routes for Wi-Fi devices from Butovo station depending on the distance of their trip as a percentage. As we can see, more than 40 % of this sample travel more than 20 km, and since the length of the entire route is 29,2 km, their path is close to driving the full route, that is, to the city centre.

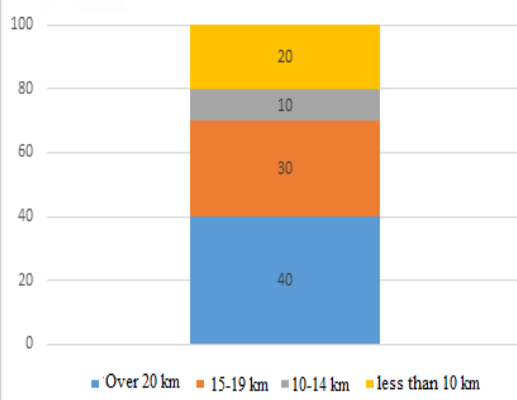
Pic. 8 shows the length distribution of trips of the passengers with Wi-Fi devices that have reached the end station Moscow Kurskaya. This picture shows that more than 50 % of this sample

travel more than 20 km, which is also an indicator close to the full route.

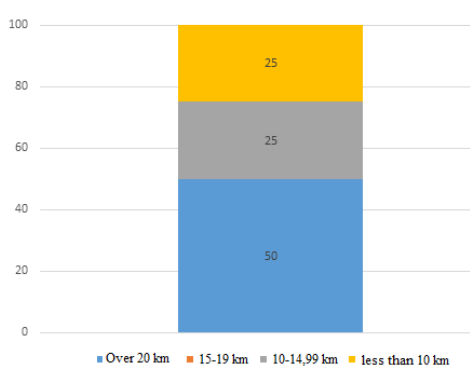
Another indicator that can be obtained from the processed data is the share of Wi-Fi devices, namely, passengers who have travelled the entire section, that is, the percentage of the longest routes through all stations of the total number of routes of all lengths, equal to 3,45 %.

Thus, by combining data, it is possible to obtain various parameters and properties of passenger flows depending on the tasks set.

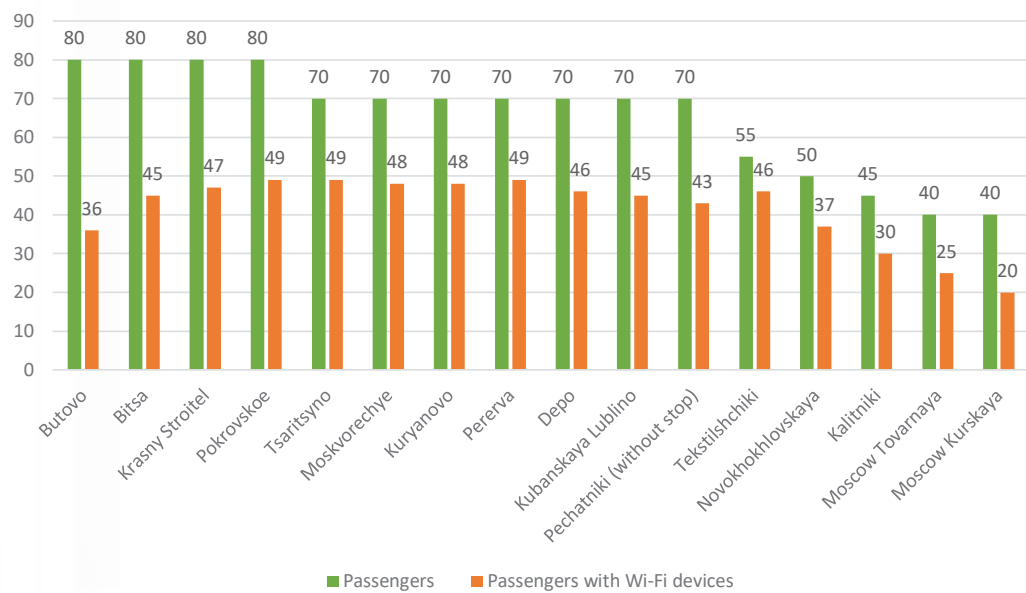




**Pic. 7. Distribution of routes of owners of Wi-Fi devices from Butovo station depending on their travel distance (%) [performed by the author].**



**Pic. 8. Distribution of length of routes of passengers with Wi-Fi devices, which have arrived at Moscow Kurskaya station (terminal station of measurement) (%) [performed by the author].**



**Pic. 9. Ratio of real number of passengers and passengers with Wi-Fi module turned on. MCD Butovo-Moscow Kurskaya section. Morning rush hour, March 4, 2021 [performed by the author].**

Next, we will analyse the data obtained on the above section from Butovo station (MCD-2) to Moscow Kurskaya station (MCD-2) on March 4, 2021, during morning rush hours (Pic. 9).

As a result of the study on March 4, 2021, data processing and filtering, 83 routes of potential passengers were found (Pic. 10).

As can be seen from Table 5, the result of the data on the number of detected routes of passengers is very strongly influenced by the power of the antenna. During the first survey (March 1, 2021), the Wi-Fi scanner was without an external antenna. For this reason, the result on this day was low. On other days, the result is quite high due to detection of a larger number of routes of passengers. Another interesting fact is that, on average, the average travel distance of potential passengers is almost equal for two surveys, and, accordingly, the average travel time of potential passengers is also very close in terms of values.

### Section No. 2. Alma-Atinskaya station–Belorusskaya station (Zamoskvoretskaya metro line)

Further, using the proven method, data were analysed for section No. 2 from Alma-Atinskaya metro station to Belorusskaya metro station (Zamoskvoretskaya line). The data were obtained during morning rush hour as well.

| Butovo  | Bitka   | Krasny<br>stroitel | Pokrovskoe | Tsaritsyno | Moskvorechie | Kuryanovo | Pererva | Depo    | Lublino | Pechatniki<br>(without<br>stop) | Tekstilshchiki | Novokhokhlo<br>vskaya | Kalitniki | Moscow<br>Tovarnaya | Moscow<br>Kurskaya |
|---------|---------|--------------------|------------|------------|--------------|-----------|---------|---------|---------|---------------------------------|----------------|-----------------------|-----------|---------------------|--------------------|
| 7:21:00 | 7:25:00 | 7:28:00            | 7:31:00    | 7:36:50    | 7:41:20      | 7:43:45   | 7:46:00 | 7:48:30 | 7:50:30 | No                              | 7:54:10        | 7:57:00               | 7:59:00   | 8:01:30             | 8:07:20            |
| 80      | 80      | 80                 | 80         | 70         | 70           | 70        | 70      | 70      | 70      | No                              | 55             | 50                    | 45        | 40                  | 0                  |
|         |         | 7:28:43            | 1          | 1          | 1            | 1         | 7:45:33 |         |         |                                 |                |                       |           |                     |                    |
|         |         |                    | 7:35:17    | 1          | 1            | 1         | 7:45:19 |         |         |                                 |                |                       |           |                     |                    |
|         |         |                    |            | 7:39:41    | 1            | 1         | 1       | 1       | 1       | 1                               | 1              | 7:56:55               |           |                     |                    |
| 7:20:54 | 1       | 1                  | 1          | 1          | 1            | 1         | 1       | 1       | 1       | 1                               | 1              |                       | 1         | 1                   | 8:04:37            |
|         | 7:25:50 | 7:28:13            |            |            |              |           |         |         |         |                                 |                |                       |           |                     |                    |
|         |         |                    |            |            |              |           | 7:46:17 | 1       | 1       | 1                               | 1              | 1                     | 1         | 1                   | 8:08:35            |
| 7:21:36 | 1       | 1                  | 1          | 1          | 7:38:35      |           |         |         |         |                                 |                |                       |           |                     |                    |
|         | 7:27:22 | 1                  | 1          | 1          | 1            | 1         | 1       | 1       | 1       | 1                               | 1              | 1                     | 7:58:44   |                     |                    |
| 7:22:14 | 1       | 1                  | 1          | 1          | 1            | 1         | 1       | 1       | 1       | 1                               | 1              | 1                     | 7:59:25   |                     |                    |
|         |         |                    |            |            | 7:41:24      | 1         | 1       | 1       | 1       | 1                               | 7:54:28        |                       |           |                     |                    |
| 7:21:09 | 1       | 1                  | 1          | 1          | 1            | 1         | 1       | 1       | 7:49:41 | 1                               |                |                       |           |                     |                    |
|         |         |                    |            |            |              | 7:42:44   | 1       | 1       | 1       | 1                               | 1              | 7:57:25               |           |                     |                    |
|         | 7:24:30 | 1                  | 1          | 1          | 1            | 1         | 7:45:28 |         |         |                                 |                |                       |           |                     |                    |
|         |         | 7:27:50            | 1          | 7:36:50    |              |           |         |         |         |                                 |                |                       |           |                     |                    |
|         |         | 7:27:35            | 1          | 1          | 1            | 1         | 1       | 1       | 1       | 1                               | 1              | 1                     | 1         | 8:01:15             |                    |
| 7:23:59 | 1       | 1                  | 1          | 1          | 7:38:29      |           |         |         |         |                                 |                |                       |           |                     |                    |
| 7:20:53 | 1       | 1                  | 1          | 1          | 1            | 1         | 1       | 1       | 1       | 1                               | 1              | 1                     | 7:59:45   |                     |                    |
| 7:20:30 | 1       | 1                  | 1          | 1          | 1            | 1         | 1       | 1       | 1       | 1                               | 1              | 1                     | 1         | 1                   | 8:04:01            |
| 7:14:00 | 1       | 7:26:30            |            |            |              |           |         |         |         |                                 |                |                       |           |                     |                    |
|         |         |                    | 7:35:22    | 1          | 1            | 1         | 1       | 1       | 1       | 1                               | 1              | 1                     | 1         | 1                   | 8:02:32            |
|         |         |                    |            |            |              | 7:44:50   | 1       | 1       | 7:50:59 |                                 |                |                       |           |                     |                    |
|         | 7:25:58 | 1                  | 1          | 1          | 1            | 1         | 7:46:10 |         |         |                                 |                | 1                     | 1         | 8:00:42             |                    |
|         | 7:25:04 | 1                  | 1          | 1          | 1            | 1         | 1       | 1       | 1       | 1                               | 1              |                       |           |                     |                    |
|         |         | 7:28:50            | 1          | 1          | 1            | 1         | 1       | 1       | 1       | 1                               | 7:54:18        |                       |           |                     |                    |
|         |         |                    |            |            |              |           |         |         |         |                                 |                | 7:58:14               | 1         | 1                   | 8:09:16            |
|         |         |                    |            |            |              |           |         |         |         |                                 |                | 1                     | 1         | 1                   | 8:12:37            |
|         |         | 7:28:27            | 7:30:06    |            |              |           |         |         |         |                                 |                |                       |           |                     |                    |
|         |         |                    |            |            |              |           |         |         |         |                                 |                |                       |           |                     |                    |
|         |         |                    |            |            |              |           |         |         | 7:53:15 | 1                               | 1              | 1                     | 1         | 1                   | 8:11:37            |
|         |         |                    |            |            |              |           |         |         |         |                                 | 7:55:01        | 7:57:40               |           |                     |                    |
| 7:21:28 | 1       | 1                  | 1          | 1          | 1            | 1         | 7:43:33 | 1       | 7:48:42 |                                 | 1              | 1                     | 1         | 1                   | 8:02:21            |
| 7:20:24 | 1       | 1                  | 1          | 1          | 1            | 1         | 1       | 1       | 1       | 1                               | 7:52:03        |                       |           |                     |                    |
|         |         |                    |            |            |              |           |         | 7:49:15 | 1       | 1                               | 1              | 1                     | 1         | 1                   | 8:08:46            |
|         |         |                    |            |            |              |           |         |         |         |                                 | 7:53:49        | 1                     | 1         | 1                   | 8:06:33            |
|         |         |                    |            |            |              |           | 7:44:48 | 1       | 1       | 1                               | 1              | 7:56:56               | 1         | 1                   |                    |
| 7:22:41 | 1       | 1                  | 1          | 1          | 1            | 1         | 1       | 1       | 1       | 1                               | 1              | 1                     | 1         | 8:00:16             |                    |
|         |         |                    |            |            | 7:38:55      | 1         | 1       | 1       | 1       | 1                               | 1              | 1                     | 1         | 1                   | 8:07:27            |
|         |         |                    |            |            |              |           |         |         |         |                                 | 7:54:33        | 1                     | 7:58:10   |                     |                    |
| 7:23:11 | 1       | 1                  | 1          | 7:36:31    |              |           |         |         |         |                                 |                |                       |           |                     |                    |
| 7:24:15 | 1       | 1                  | 7:30:39    |            |              |           |         |         |         |                                 |                |                       |           |                     |                    |
| 7:20:53 | 7:24:47 |                    |            |            |              |           |         |         |         |                                 |                |                       |           |                     |                    |
| 7:21:21 | 1       | 1                  | 1          | 1          | 1            | 1         | 1       | 1       | 1       | 1                               | 7:57:21        |                       |           |                     |                    |
| 7:22:07 | 1       | 1                  | 1          | 7:37:22    |              |           |         |         |         |                                 |                |                       |           |                     |                    |
| 7:22:44 | 1       | 1                  | 1          | 1          | 1            | 1         | 1       | 1       | 1       | 1                               | 1              | 1                     | 1         | 1                   | 8:03:53            |
|         |         |                    |            |            |              |           |         |         |         |                                 |                |                       |           | 8:00:00             | 8:08:00            |
|         |         |                    |            |            |              | 7:41:51   | 1       | 1       | 7:47:10 |                                 |                |                       |           |                     |                    |
|         |         |                    |            |            |              |           |         | 7:48:27 | 1       | 1                               | 7:54:31        |                       |           |                     |                    |
| 7:19:29 | 1       | 1                  | 1          | 1          | 1            | 1         | 1       | 1       | 1       | 1                               | 1              | 1                     | 1         | 1                   | 8:08:45            |
| 7:20:46 | 1       | 1                  | 1          | 7:37:22    | 1            | 1         | 1       | 7:48:42 |         |                                 |                |                       |           |                     |                    |
| 7:20:42 | 1       | 1                  | 7:31:05    |            | 1            | 1         | 1       | 1       | 1       | 1                               | 1              | 7:57:15               |           |                     |                    |
|         | 7:27:19 | 1                  | 1          | 1          | 1            | 1         | 1       | 1       | 1       | 1                               | 1              | 1                     | 7:58:27   |                     |                    |
| 7:20:55 | 1       | 1                  | 1          | 1          | 7:38:22      |           |         |         |         |                                 |                |                       |           |                     |                    |
| 7:21:28 | 1       | 1                  | 1          | 1          | 1            | 1         | 1       | 1       | 1       | 1                               | 7:52:35        |                       |           |                     |                    |
| 7:21:19 | 1       | 1                  | 1          | 7:33:01    |              |           |         |         |         |                                 |                |                       |           |                     |                    |
| 7:20:23 | 1       | 1                  | 1          | 1          | 1            | 1         | 1       | 1       | 1       | 1                               | 1              | 1                     | 1         | 1                   | 8:10:07            |
|         |         |                    |            |            | 7:30:52      | 7:36:28   |         |         |         |                                 |                |                       |           |                     |                    |
| 7:22:17 | 1       | 1                  | 7:29:13    |            |              |           |         |         |         |                                 |                |                       |           |                     |                    |
| 7:20:46 | 7:23:06 |                    |            |            |              |           |         |         |         |                                 |                |                       |           |                     |                    |
| 7:21:36 | 1       | 1                  | 1          | 1          | 1            | 1         | 7:45:14 |         |         |                                 |                |                       |           |                     |                    |
|         |         |                    | 7:31:43    |            | 7:40:48      |           |         |         |         |                                 |                |                       |           |                     |                    |
|         |         |                    |            | 7:37:50    | 1            | 1         | 1       | 1       | 1       | 1                               | 1              | 1                     | 1         | 8:02:19             |                    |
| 7:20:24 | 1       | 7:28:45            |            |            |              |           |         |         |         |                                 |                |                       |           |                     |                    |
|         |         | 7:26:39            | 1          | 7:32:22    |              |           |         |         |         |                                 |                |                       |           |                     |                    |
| 7:20:38 | 1       | 1                  | 1          | 1          | 1            | 1         | 1       | 1       | 1       | 1                               | 7:54:18        |                       |           |                     |                    |
| 7:21:02 | 1       | 1                  | 7:31:30    |            |              |           |         |         |         |                                 |                |                       |           |                     |                    |
| 7:20:53 | 1       | 1                  | 1          | 1          | 1            | 1         | 1       | 1       | 1       | 1                               | 7:53:51        |                       |           |                     |                    |
|         |         |                    | 7:33:48    | 7:35:24    |              |           |         |         |         |                                 |                |                       |           |                     |                    |
|         | 7:24:22 | 1                  | 1          | 1          | 1            | 1         | 1       | 1       | 1       | 1                               | 1              | 1                     | 1         | 1                   | 8:04:53            |
|         |         |                    |            |            | 7:41:12      | 1         | 1       | 1       | 1       | 1                               | 7:54:52        |                       |           |                     |                    |
| 7:21:36 | 1       | 1                  | 1          | 1          | 1            | 1         | 1       | 1       | 1       | 1                               |                |                       |           |                     |                    |
| 7:21:10 | 7:25:49 |                    |            |            |              |           |         |         |         |                                 |                |                       |           |                     |                    |
| 7:20:55 | 1       | 1                  | 1          | 1          | 1            | 1         | 1       | 1       | 1       | 1                               | 7:50:45        |                       |           |                     |                    |
|         |         |                    |            |            |              |           |         |         | 7:53:03 | 1                               | 1              | 1                     | 1         | 1                   | 8:08:46            |
|         |         |                    |            |            |              | 7:38:24   | 7:42:15 |         |         |                                 |                |                       |           |                     |                    |
|         | 7:25:30 | 7:27:58            |            |            |              |           |         |         |         |                                 |                |                       |           |                     |                    |
|         |         |                    |            | 7:37:36    | 1            | 1         | 1       | 1       | 1       | 1                               | 1              | 1                     | 1         | 1                   | 8:07:59            |
|         | 7:26:01 |                    |            | 1          | 1            | 1         | 1       | 1       | 1       | 1                               | 1              | 1                     | 1         | 1                   | 8:07:59            |
|         |         |                    | 7:33:13    |            | 7:38:51      |           |         |         |         |                                 |                |                       |           |                     |                    |
|         |         |                    |            |            |              |           |         | 7:47:20 | 1       | 1                               | 1              | 1                     | 1         | 8:01:19             |                    |
| 7:17:39 | 1       | 1                  | 1          | 1          | 1            | 1         | 1       | 1       | 1       | 1                               |                | 7:57:42               |           |                     |                    |
| 7:20:50 | 1       | 1                  | 1          | 1          | 1            | 1         | 1       | 1       | 1       | 1                               | 7:52:28        |                       |           |                     |                    |

Pic. 10. Routes of potential passengers with Wi-Fi module enabled on the section from Butovo station (MCD-2) to Moscow Kurskaya station (MCD-2). March 4, 2021 [performed by the author].



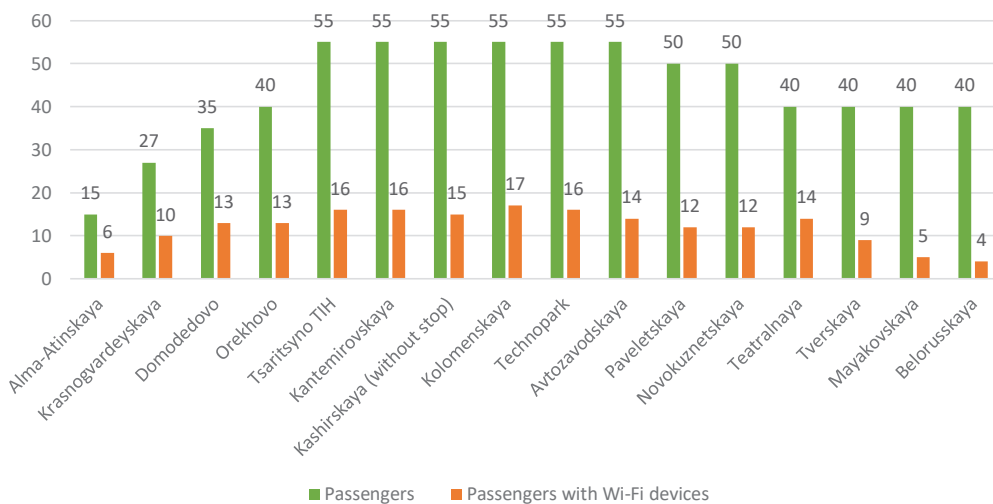
Table 5

The result of research on the section from Butovo station (MCD-2) to Moscow Kurskaya station (MCD-2). March 4, 2021 [performed by the author]

| Route from Butovo station (MCD-2) to Moscow Kurskaya station (MCD-2) | Number of identified routes | Average travel distance of passengers | Average travel time of passengers | Presence of an external antenna |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| March 1, 2021 – morning rush hour                                    | 29                          | 13,56 km                              | 0:20:13                           | –                               |
| March 4, 2021 – morning rush hour                                    | 83                          | 15,09 km                              | 0:23:35                           | +                               |
| March 5, 2021 – morning rush hour                                    | 60                          | 13,3 km                               | 0:19:48                           | +                               |
| Total averages                                                       | 57,3                        | 13,98 km                              | 0:21:12                           |                                 |



Pic. 11. Image of section No.2. Source: [https://yandex.ru/metro/moscow?scheme\\_id=sc34974011/](https://yandex.ru/metro/moscow?scheme_id=sc34974011/). Last accessed 10.04.2022.



**Pic. 12. Ratio of real number of passengers and passengers with Wi-Fi module turned on. Section No. 2 from Alma-Atinskayastation to Belorusskaya station (Zamoskvoretskaya line). Morning rush hour. February 20, 2021 [performed by the author].**

**Table 6**  
**The result of the study on section No. 2 from Alma-Atinskaya metro station to Belorusskaya metro station (Zamoskvoretskaya line). Morning rush hour [performed by the author]**

| Route No. 2 from Alma-Atinskaya metro station to Belorusskaya metro station (Zamoskvoretskaya line). Morning rush hours | Number of identified routes of passengers | Average travel distance of passengers | Average travel time of passengers |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| February 20, 2021 – morning rush hour*                                                                                  | 33                                        | 9,4 km                                | 0:12:28                           |
| February 24, 2021 – morning rush hour                                                                                   | 35                                        | 8,7 km                                | 0:11:46                           |
| February 26, 2021 – morning rush hour                                                                                   | 32                                        | 10,4 km                               | 0:13:52                           |
| Total averages                                                                                                          | 33,33                                     | 9,5 km                                | 0:12:42                           |

\* February 20, 2021 – Saturday.

According to Pic. 12, it can be seen that the percentage of detected Wi-Fi devices that can be used to build routes is lower than in the analysis of section No. 1. The reason is due to the fact that the Zamoskvoretskaya metro line operates cars without passage and the scanner was located on the floor during the Wi-Fi analysis, which also reduced the percentage of collected data. Also, the measurement was carried out in the morning period from 07:26 to 08:08 on February 20, 2021, on Saturday, which is a day off for most residents of Moscow and passengers staying in the city. But even when analysing data obtained on February 24 and 26, 2021, (working days), Wi-Fi data on potential passengers in percentage terms were also lower than for section No. 1. From this it follows that the location of the scanner on the floor and high density of people in the car significantly reduces results. Also, the results can be

affected by working Wi-Fi routers and routers in the same frequency range<sup>7</sup>.

As a result, 33 routes of potential passengers with the Wi-Fi module turned on were identified (Pic. 13).

As a result, the following values were obtained (Table 6).

### Section No. 3. Buninskaya alleya station– Bitsevskiy park station (Butovskaya line)

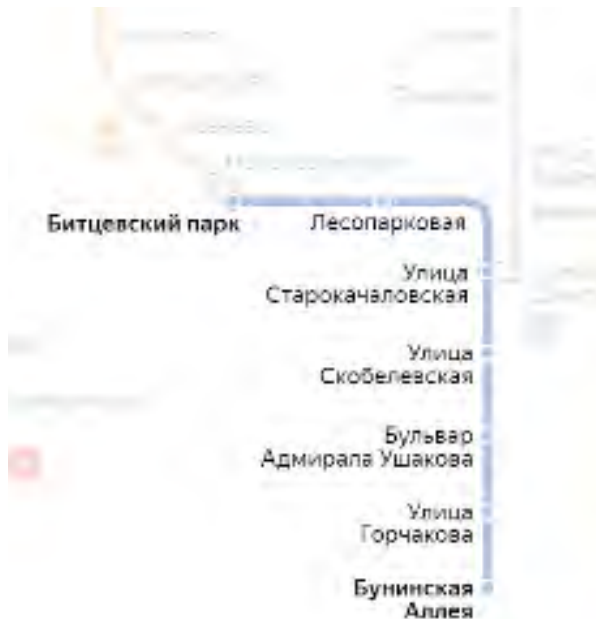
Section No. 3 is the shortest (8,8 km) compared to the other studied sections. In this study, the Wi-Fi scanner, as well as during data collection at the section No. 2, was on the floor.

<sup>7</sup> Recommendations from the manufacturer of Wi-Fi routers Keenetic. [Electronic resource]: <https://help.keenetic.com/hc/ru/articles/213968709-Что-влияет-на-работу-беспроводных-сетей-Wi-Fi-Что-может-являться-источником-помех-и-каковы-их-возможные-причины> Last accessed: 10.04.2022.

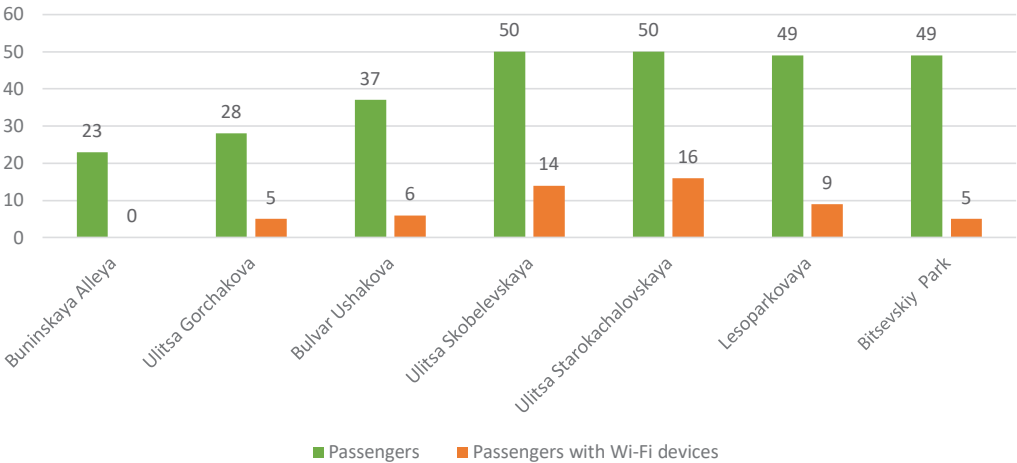


| Alma-Atinskaya    | Krasnogvardeyskaya | Domodedovo | Orekhovo | Tsaritsyno TИH | Kantemirovskaya | Kashirskaya<br>(without stop) | Kolomenskaya | Technopark | Avtozavodskaya | Paveletskaya | Novokuznetskaya | Teatralnaya | Tverskaya | Mayakovskaya | Belorusskaya |
|-------------------|--------------------|------------|----------|----------------|-----------------|-------------------------------|--------------|------------|----------------|--------------|-----------------|-------------|-----------|--------------|--------------|
| 7:26:29<br>15 (4) | 7:33:02            | 7:34:06    | 7:36:28  | 7:39:25        | 7:41:57         | No                            | 7:49:50      | 7:53:06    | 7:55:13        | 7:58:22      | 8:00:16         | 8:02:55     | 8:04:54   | 8:06:32      | 8:08:15      |
|                   |                    | 35         | 40       | 55             | 55              |                               | 55           | 55         | 55             | 50           | 50              | 40          | 40        | 40           | 40           |
|                   | 7:32:28            | 1          | 1        | 1              | 1               | 1                             | 1            | 1          | 1              | 1            | 1               | 1           | 1         | 1            | 1            |
| 7:24:48           | 1                  | 1          | 1        | 7:38:40        |                 |                               |              |            |                |              | 7:59:20         | 8:02:56     | 8:04:01   |              | 8:08:28      |
|                   | 7:32:49            | 1          | 1        | 1              | 1               | 1                             | 7:50:51      | 7:53:24    | 1              | 1            | 1               | 1           | 8:04:44   |              |              |
|                   |                    |            |          |                |                 |                               |              |            |                |              |                 | 8:03:56     | 8:04:32   |              |              |
| 7:24:39           | 1                  | 1          | 1        | 1              | 1               | 1                             | 1            | 1          | 1              | 1            | 1               | 1           | 1         | 1            | 8:07:33      |
| 7:31:00           | 1                  | 1          | 1        | 1              | 1               | 1                             | 1            | 1          | 1              | 7:57:30      | 1               | 1           | 1         | 1            | 8:09:10      |
|                   |                    |            |          |                |                 |                               |              |            | 7:56:12        |              |                 |             |           |              |              |
| 7:24:06           | 1                  | 1          | 1        | 1              | 1               | 1                             | 1            | 1          | 1              | 1            | 8:00:25         |             |           |              |              |
|                   |                    |            |          |                |                 |                               |              |            |                |              |                 | 8:03:46     | 8:04:48   |              |              |
|                   |                    |            |          | 7:39:47        | 1               | 1                             | 1            | 1          | 1              | 7:58:50      |                 |             |           |              |              |
|                   | 7:32:37            | 1          | 0:00:00  | 7:37:44        |                 |                               |              |            |                |              | 1               | 8:02:44     |           |              |              |
|                   |                    |            |          | 7:40:12        | 1               | 1                             | 1            | 1          | 1              | 1            |                 |             |           |              |              |
| 7:32:00           | 1                  | 1          | 7:35:12  |                |                 |                               |              |            |                |              | 8:01:52         | 8:02:15     |           |              |              |
| 7:25:25           | 7:32:52            |            |          |                | 7:42:05         | 1                             | 7:48:47      |            |                |              |                 |             |           |              |              |
|                   |                    |            |          |                |                 |                               |              |            |                |              | 8:00:41         | 1           | 1         | 1            | 8:08:35      |
|                   |                    |            |          |                | 7:43:52         | 1                             | 7:45:25      |            |                |              |                 |             |           |              |              |
|                   | 7:32:36            | 1          | 1        | 1              | 1               | 1                             | 1            | 7:52:24    |                |              |                 |             |           |              |              |
|                   | 7:34:37            | 1          | 1        | 1              | 1               | 1                             | 1            | 1          | 1              | 1            | 1               | 8:03:26     |           |              |              |
|                   |                    |            |          |                |                 |                               | 7:50:56      | 7:51:42    |                | 7:57:31      |                 |             |           |              |              |
|                   |                    | 7:35:24    | 1        | 1              | 1               | 1                             | 1            | 1          | 1              |              |                 |             |           |              |              |
|                   |                    |            |          |                |                 |                               |              | 7:52:27    | 7:54:32        |              |                 |             |           |              |              |
|                   |                    |            |          | 7:39:45        | 7:40:16         |                               |              |            |                |              | 8:00:56         | 8:05:05     |           |              |              |
|                   |                    |            |          |                |                 |                               |              |            |                |              |                 |             |           |              |              |
|                   |                    | 7:35:14    | 1        | 7:38:01        |                 |                               |              |            |                |              |                 |             |           |              |              |
|                   |                    | 7:35:03    | 1        | 1              | 1               | 1                             | 1            | 1          | 1              | 1            | 1               | 1           | 1         | 8:06:16      |              |
|                   |                    |            |          |                |                 |                               |              | 7:54:05    | 1              | 7:56:43      |                 |             |           |              |              |
|                   |                    |            |          |                | 7:46:42         | 1                             | 1            | 1          | 7:54:25        |              |                 |             |           |              |              |
|                   |                    |            |          | 7:40:02        | 1               | 1                             | 7:46:12      |            |                |              |                 |             |           |              |              |

Fig. 13. Routes of passengers with Wi-Fi module enabled on section No.2 from Alma-Atinskaya station to Belorusskaya station (Zamoskvoretskaya line). Morning rush hour. February 20, 2021. [performed by the author].



Pic. 14. Image of section No. 3. [Electronic resource]: [https://yandex.ru/metro/moscow?scheme\\_id=sc34974011](https://yandex.ru/metro/moscow?scheme_id=sc34974011). Last accessed 10.04.2022.

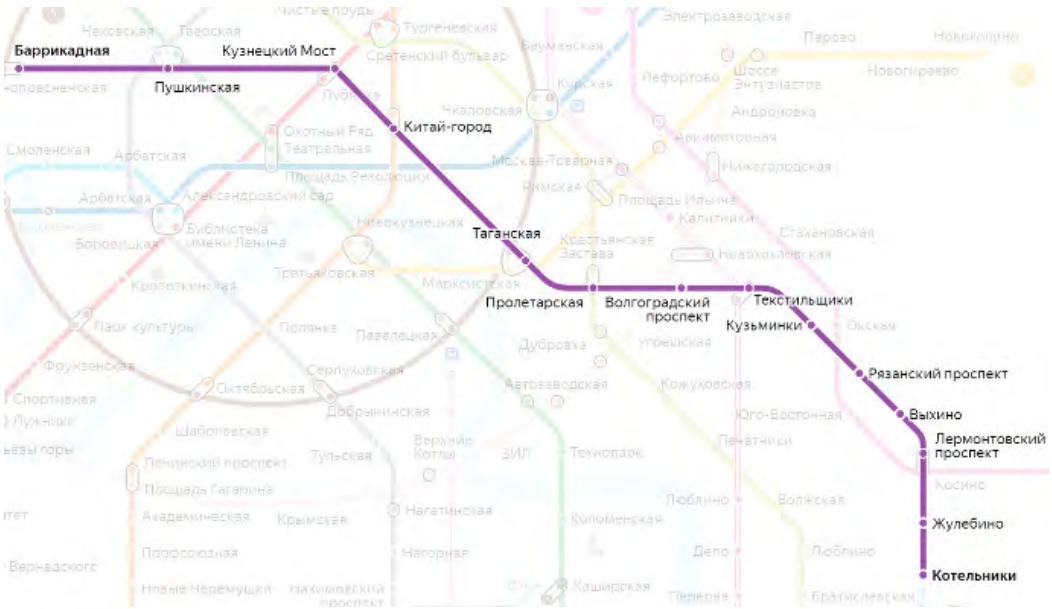


Pic. 15. Ratio of the real number of passengers and passenger with Wi-Fi module turned on. Section No. 3 from Buninskaya alleya station to Bitsevskiy park station (Butovskaya line). February 9, 2021 [performed by the author].

| Buninskaya alleya | Uliitsa Gorchakova | Bulvar Ushakova | Uliitsa Skobelevskaya | Uliitsa Starokachalovskaya | Lesoparkovaya | Bitsevskiy park |
|-------------------|--------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|---------------|-----------------|
| 8:17              | 8:19               | 8:21            | 8:22                  | 8:28                       | 8:31          | 8:33            |
| 23                | 28                 | 37              | 50                    | 50                         | 49            | 49              |
|                   |                    |                 | 8:23:45               | 8:27:54                    |               |                 |
|                   |                    |                 |                       | 8:29:15                    | 8:30:33       |                 |
|                   |                    |                 | 8:25:22               | 8:27:51                    |               |                 |
|                   | 8:20:34            | 1               | 1                     | 8:28:08                    |               |                 |
|                   | 8:20:20            | 1               | 1                     | 1                          | 1             | 8:33:34         |
|                   | 8:20:23            | 1               | 1                     | 8:27:32                    |               |                 |
|                   | 8:19:50            | 1               | 8:21:55               |                            |               |                 |
|                   |                    |                 | 8:23:58               | 1                          | 1             | 8:32:48         |
|                   |                    |                 | 8:25:41               | 8:27:53                    |               |                 |
|                   | 8:19:58            | 1               | 1                     | 1                          | 8:30:01       |                 |
|                   |                    | 8:20:48         |                       | 8:23:38                    |               |                 |
|                   |                    |                 |                       |                            | 8:30:16       | 8:32:19         |
|                   |                    |                 | 8:26:20               | 1                          | 1             | 8:34:05         |
|                   |                    |                 | 8:22:25               | 8:28:06                    |               |                 |
|                   |                    |                 | 8:25:18               | 1                          | 8:29:31       |                 |
|                   |                    |                 | 8:23:46               | 1                          | 8:29:12       |                 |
|                   |                    |                 | 8:24:53               | 8:25:46                    |               |                 |
|                   |                    |                 |                       | 8:27:49                    | 1             | 8:34:30         |

Pic. 16. Routes of potential passengers with Wi-Fi module enabled on Section No. 3 from Buninskaya alleya station to Bitsevskiy park station (Butovskaya line). February 9, 2021 [performed by the author].





*Pic. 17. Image of route No. 4. [Electronic resource]: [https://yandex.ru/metro/moscow?scheme\\_id=sc34974011](https://yandex.ru/metro/moscow?scheme_id=sc34974011). Last accessed 10.04.2022.*

The results are shown in Pic. 15.  
As a result, 18 routes of potential passengers were identified (Pic. 16).

The results obtained are shown in Table 7.

**Section No. 4. Kotelniki station–  
Barrikadnaya station (Tagansko-  
Krasnopresnenskaya line)**

The section No. 4 is characterised by the existing transport interchange hubs (Lermontovsky Prospekt and Vykhino stations).

Pic. 18 shows a diagram of data collection carried out on May 18, 2021.

The result of processing of 58 routes of potential passengers is shown in Pic. 19.

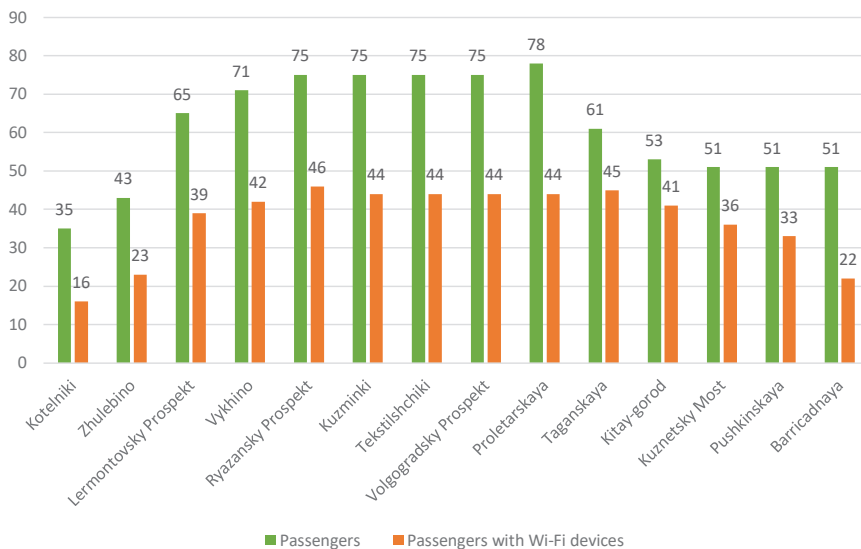
As a result, the values shown in Table 8 were obtained.

**CONCLUSION**

The study resulted in identification of the main features of the obtained data, namely in the following most important conclusions on the studied method of collecting and analysing WI-FI data.

**1. Location of a Wi-Fi scanner**

When conducting a Wi-Fi study, the scanner was located either on the floor of the car (Butovskaya metro line, Zamoskvoretskaya metro line) or on the upper rack of the car (MCD-2). The results have conformed the information of the manufacturer of



**Pic. 18. Ratio of real number of passengers and passengers with Wi-Fi module enabled on. Section No. 4 from Kotelniki station to Barrikadnaya station (Tagansko-Krasnopresnenskaya line). May 18, 2021 [performed by the author].**

| Kotelniki | Zhulebino | Lermontovskiy Prospekt | Vykhino | Ryazansky Prospekt | Kuzminki | Tekstilshchiki | Volgogradsky Prospekt | Proletarskaya | Taganskaya | Kitay-gorod | Kuznetsky Most | Pushkinskaya | Barrikadnaya |
|-----------|-----------|------------------------|---------|--------------------|----------|----------------|-----------------------|---------------|------------|-------------|----------------|--------------|--------------|
| 6:56:00   | 6:59:00   | 7:03:00                | 7:08:00 | 7:10:00            | 7:13:00  | 7:15:50        | 7:19:30               | 7:22:00       | 7:24:00    | 7:27:00     | 7:28:20        | 7:30:20      | 7:32:40      |
| 45        | 43        | 65                     | 71      | 75                 | 75       | 75             | 75                    | 78            | 61         | 53          | 51             | 51           | 51           |
| 6:56:25   | 1         | 1                      | 1       | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 1             | 1          | 1           | 1              | 1            | 7:32:33      |
|           |           | 7:02:31                | 1       | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 1             | 7:24:07    |             |                |              |              |
|           |           |                        | 7:07:19 | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 1             | 1          | 1           | 1              | 7:30:35      |              |
|           |           |                        |         |                    |          |                |                       |               | 7:26:11    | 1           | 1              | 1            | 7:31:50      |
|           |           |                        |         |                    |          |                |                       |               | 7:25:24    | 1           | 1              | 7:30:49      |              |
|           | 6:59:36   | 1                      | 7:08:38 |                    |          |                |                       |               |            |             |                |              |              |
|           |           |                        |         | 7:11:04            | 1        | 1              | 1                     | 1             | 1          | 7:26:40     |                |              |              |
|           | 6:59:12   | 1                      | 1       | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 1             | 1          | 1           | 1              | 7:29:35      |              |
|           |           | 7:03:04                | 1       | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 1             | 1          | 1           | 1              | 1            | 7:31:01      |
| 6:56:58   | 1         | 1                      | 1       | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 7:22:02       |            |             |                |              |              |
|           |           |                        |         | 7:09:24            | 1        | 1              | 1                     | 1             | 1          | 1           | 1              | 1            | 7:33:06      |
|           |           | 7:02:58                | 1       | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 1             | 1          | 1           | 1              | 1            | 7:32:50      |
|           |           | 7:03:58                | 1       | 1                  | 1        | 1              | 7:19:17               |               |            |             |                |              |              |
| 6:59:09   | 1         | 1                      | 1       | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 1             | 1          | 1           | 1              | 1            | 7:32:25      |
|           |           |                        |         | 7:09:23            | 1        | 1              | 1                     | 7:22:23       |            |             |                |              |              |
|           |           |                        |         |                    |          |                |                       | 7:22:38       | 1          | 7:27:00     |                |              |              |
|           |           |                        |         |                    |          |                |                       |               | 7:25:42    | 1           | 1              | 1            | 7:32:52      |
|           |           | 7:03:50                | 1       | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 7:22:08       |            |             |                |              |              |
| 6:56:04   | 1         | 1                      | 1       | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 1             | 1          | 1           | 1              | 1            | 7:32:35      |
| 6:56:27   | 1         | 1                      | 1       | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 1             | 1          | 1           | 1              | 7:29:19      |              |
|           |           |                        |         | 7:12:08            | 1        | 1              | 1                     | 1             | 1          | 7:27:07     |                |              |              |
|           |           |                        |         |                    |          |                | 7:20:03               | 1             | 1          | 1           | 1              | 7:30:17      |              |
|           |           |                        |         | 7:10:26            | 1        | 1              | 1                     | 1             | 1          | 1           | 1              | 7:30:31      |              |
|           | 7:01:17   | 1                      | 1       | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 1             | 7:24:32    |             |                |              |              |
|           |           | 7:04:06                | 1       | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 1             | 7:23:35    |             |                |              |              |
|           |           |                        | 7:07:06 | 1                  | 1        | 7:14:05        |                       |               |            |             |                |              |              |
|           |           | 7:03:18                | 1       | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 1             | 1          | 1           | 1              | 7:30:07      |              |
|           | 7:00:59   | 1                      | 1       | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 1             | 1          | 1           | 7:27:46        |              |              |
|           |           |                        |         |                    |          |                |                       |               | 7:25:27    | 1           | 1              | 1            | 7:31:23      |
|           |           | 7:03:47                | 1       | 7:09:57            |          |                |                       |               |            |             |                |              |              |
|           |           |                        |         |                    | 7:13:02  | 1              | 1                     | 1             | 1          | 1           | 1              | 1            | 7:31:51      |
|           |           | 7:04:00                | 1       | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 1             | 1          | 7:26:55     |                |              |              |
|           |           |                        |         |                    |          | 7:15:35        | 1                     | 1             | 1          | 1           | 1              | 1            | 7:31:02      |
|           |           |                        |         |                    |          |                | 7:22:08               |               |            |             |                |              |              |
|           |           | 7:05:33                | 1       | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 1             | 1          | 1           | 7:28:33        |              |              |
|           |           | 7:04:14                | 1       | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 1             | 1          | 1           | 1              | 7:30:00      |              |
| 6:57:34   | 1         | 1                      | 1       | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 1             | 1          | 1           | 1              | 7:32:50      |              |
|           |           |                        |         |                    |          |                |                       |               |            | 7:27:00     | 1              | 1            | 7:32:55      |
| 6:57:20   | 1         | 1                      | 1       | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 1             | 1          | 7:25:43     |                |              |              |
|           |           |                        |         |                    |          |                |                       |               | 7:24:56    | 1           | 1              | 1            | 7:32:39      |
|           |           | 7:02:48                | 1       | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 1             | 1          | 1           | 1              | 1            | 7:32:52      |
| 6:57:10   | 1         | 1                      | 1       | 7:09:45            |          |                |                       |               |            |             |                |              |              |
|           |           |                        | 7:07:51 | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 1             | 1          | 1           | 1              | 1            | 7:32:18      |
| 6:56:11   | 1         | 1                      | 1       | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 1             | 1          | 1           | 1              | 7:29:14      |              |
|           |           | 7:03:18                | 1       | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 1             | 1          | 1           | 1              | 1            | 7:31:51      |
|           |           | 7:03:43                | 1       | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 1             | 1          | 1           | 1              | 1            | 7:31:03      |
| 6:54:29   | 1         | 1                      | 1       | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 1             | 7:22:53    |             |                |              |              |
| 6:56:16   | 1         | 1                      | 1       | 1                  | 7:13:05  |                |                       |               |            |             |                |              |              |
|           |           | 7:02:58                | 1       | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 1             | 1          | 1           | 1              | 7:30:07      |              |
| 6:56:15   | 1         | 1                      | 1       | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 1             | 7:25:39    |             |                |              |              |
| 6:56:32   | 1         | 1                      | 1       | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 1             | 1          | 1           | 1              | 1            | 7:32:49      |
|           |           | 7:01:16                | 1       | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 1             | 1          | 1           | 7:28:01        |              |              |
| 6:56:40   | 1         | 1                      | 1       | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 1             | 1          | 1           | 7:28:28        |              |              |
|           |           | 6:58:05                | 1       | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 1             | 1          | 1           | 1              | 7:30:32      |              |
|           |           | 6:59:13                | 1       | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 1             | 1          | 1           | 1              | 1            | 7:32:19      |
| 6:56:07   | 1         | 1                      | 1       | 7:10:26            |          |                |                       |               |            |             |                |              |              |
| 6:56:21   | 1         | 1                      | 1       | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 1             | 1          | 1           | 1              | 1            | 7:32:52      |
|           |           | 7:03:45                | 1       | 1                  | 1        | 1              | 1                     | 1             | 1          | 1           | 1              | 1            | 7:32:50      |

**Pic. 19. Routes of passengers with Wi-Fi module turned on. Section No. 4 from Kotelniki station to Barrikadnaya station (Tagansko-Krasnopresnenskaya line). May 18, 2021 [performed by the author].**



Table 7

The result of the study on section No. 3 from Buninskaya alleya station to Bitsevskiy Park station (Butovskaya line). February 9, 2021 [performed by the author]

| Section No. 3 from Buninskaya alleya station to Bitsevskiy Park station (Butovskaya line) | Number of identified routes of passengers | Average travel distance of passengers | Average travel time of passengers |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| February 9, 2021 – morning rush hour                                                      | 18                                        | 3,9 km                                | 0:05:15                           |
| February 10, 2021 – morning rush hour                                                     | 23                                        | 3,87 km                               | 0:05:48                           |
| February 26, 2021 – morning rush hour                                                     | 11                                        | 4,4 km                                | 0:07:14                           |
| Total averages                                                                            | 17,33                                     | 4,06 km                               | 0:06:06                           |

Remark: Based on the results obtained, it can be concluded that the average travel distance is almost equal to half the path of the entire section.

Table 8

The result of the study on section No. 4 from Kotelniki station to Barrikadnaya station (Tagansko-Krasnopresnenskaya line). May 18, 2021 [performed by the author]

| Section No. 4 from Kotelniki station to Barrikadnaya station (Tagansko-Krasnopresnenskaya line) | Number of identified routes of passengers | Average travel distance of passengers | Average travel time of passengers |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| May 17, 2021 – morning rush hour                                                                | 26                                        | 11,07 km                              | 0:14:30                           |
| May 18 2021 – morning rush hour                                                                 | 58                                        | 15,95 km                              | 0:21:31                           |
| May 19, 2021 – morning rush hour                                                                | 59                                        | 12,47 km                              | 0:18:06                           |
| Total averages                                                                                  | 47,67                                     | 13,16 km                              | 0:18:02                           |

Table 9

Comparison of processed Wi-Fi data [performed by the author]

|                             | Average number of identified routes of potential passengers (units) |                       |                 |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------|
| Location of a Wi-Fi scanner | MCD-2                                                               | Zamoskvoretskaya line | Butovskaya line |
| Floor level of the car      | –                                                                   | 33,33                 | 17,33           |
| Upper rack of the car       | 57,3                                                                | –                     | –               |



Pic. 20. Layout of Wi-Fi scanners [performed by the author].

Wi-Fi routers indicating that for more stable operation of Wi-Fi devices, it is recommended to place Wi-Fi devices at a height of 1–2 meters<sup>8</sup>. The number of detected Wi-Fi devices when the Wi-Fi scanner is located on the upper rack of the car is higher than when the Wi-Fi scanner is located on the floor of the car (Table 9).

### 2. Presence/absence of an external antenna

According to the results of the study, it was revealed that the presence of an external antenna significantly increases the result, but provided that the Wi-Fi scanner is located on the upper rack of the car.

### 3. Dynamic/stationary Wi-Fi scanner

It was shown that using a dynamic Wi-Fi scanner it is possible to obtain data on the routes of passenger flows, and in particular on its properties, such as:

- Average travel distance of potential passengers.
- Average travel time of potential passengers.

This study used a dynamic Wi-Fi scanner was used, but stationary Wi-Fi scanners are required for better results. Moreover, with the location of Wi-Fi scanners at the exit and entrance of metro, and in metro cars themselves, the possibility of determining the routes of potential passengers will increase significantly. Also, the cumulative effect will play a big role. If there will be more Wi-Fi data on passenger traffic, it will be possible

<sup>8</sup> General recommendations for placing a Keenetic Internet Centre in an apartment for stable and high-quality Wi-Fi network operation. [Electronic resource]: <https://help.keenetic.com/hc/ru/articles/213968849>. Last accessed 10.04.2022.

Table 10

The result of Wi-Fi data processing for all four sections [performed by the author]

| Section | Metro line                       | Route length (km) | Average travel time for the entire route | Average number of identified Wi-Fi devices as per the actual number of passengers (%) | Average number of potential passengers who travelled almost the entire route (%) | Average travel distance of potential passengers (km) | Average travel time of potential passengers |
|---------|----------------------------------|-------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1       | MCD-2                            | 29,2              | 0:48:00                                  | 53                                                                                    | 32                                                                               | 13,98                                                | 0:21:12                                     |
| 2       | Zamoskvoretskaya line            | 27,9              | 0:41:46                                  | 28                                                                                    | 18                                                                               | 9,5                                                  | 0:12:42                                     |
| 3       | Butovskaya line                  | 8,8               | 0:16:40                                  | 21                                                                                    | 8                                                                                | 4,06                                                 | 0:06:06                                     |
| 4       | Tagansko-Krasnopresnenskaya line | 25,1              | 00:38:00                                 | 41                                                                                    | 24                                                                               | 13,16                                                | 0:18:02                                     |

to analyse the received data with their further forecasting.

Also, to obtain a qualitative result on passenger flows, adoption and installation of stationary Wi-Fi scanners is required. A possible scheme is shown in Pic. 20.

According to the above scheme, it is required to install one Wi-Fi scanner at the entrance to the metro or at the entrance to the MCD platform, install one Wi-Fi scanner in each metro car and install one Wi-Fi scanner at the exit from the metro or from the MCD platform. Equipping with additional Wi-Fi scanners will improve the results and allow collecting and accumulating Wi-Fi data for further processing and analysis.

At the moment, on the territory of Moscow agglomeration, the Wi-Fi zone is increasing from year to year<sup>9</sup>. This factor is of great importance to enhance the possibility of obtaining better Wi-Fi data and processing it to get data on passenger flows.

Moreover, Wi-Fi analytics can be used as an additional tool for passenger traffic analysis, along with such instruments as validation, automated passenger traffic monitoring system, video analytics, etc.

#### 4. Data processing software. Randomisation

The most important element in obtaining traffic data results is data processing. For data analysis in this study, the author used the capacity of Microsoft Excel, but when scaling data processing, Microsoft Excel will not be enough. Programming languages such as Python, My SQL, etc. will be more opportune.

The problem of randomisation of Wi-Fi data was also stated in the work. The following

<sup>9</sup> Moscow Wi-Fi is seven years old. Moscow 24. [Electronic resource]: <https://www.m24.ru/news/mehr-Moskvy/27092020/134649>. Last accessed 10.04.2022.

conclusions were made: randomisation itself does not interfere with processing of the received data, since randomisation of MAC addresses occurs neither every minute nor hourly, but daily, weekly. Within the observation period of 1–2 hours, randomisation does not affect the result.

#### 5. Empirical results

Intermediate empirical results of the study have shown that, on average, 20–45 % of the actual number of passengers use Wi-Fi devices that might be detected by described methods. This can testify that not all passengers use the Wi-Fi module enabled on the Wi-Fi device. Plus, in the early hours of the day, many passengers sleep, respectively, the sample of the received data is reduced and, accordingly, the number of passenger routes detected is reduced. But the positive thing is that the data obtained can be used to analyse passenger flows.

Table 10 shows the result of processing Wi-Fi data for all four sections.

For all four sections, the percentage of the average number of detected Wi-Fi devices regarding the actual number of passengers was 35,75 %, and the average number of passengers who travelled almost the entire route was 20,5 %.

Existing technologies allow various methods to collect data on passenger flows. But for qualitative results, that is, close to the real, and not predicted by the data sample, it is necessary to use combined systems for counting passenger flows, a system for collecting and analysing all possible data on passenger flows on the territory of Moscow transport hub.

It is also advisable to collect and analyse Bluetooth data, which in the future can also give interesting results in the field of passenger traffic research.



## REFERENCES

1. Pashina, A. S., Kravchuk, I. S. Innovations in the infrastructure of Moscow metro [*Innovatsii v infrastructure Moskovskogo metropolitena. Sovremennoe sostoyanie, problemy i perspektivy razvitiya otraslevoi nauki*]. In: Proceedings of the conference «Current state, problems and prospects for development of branch science». Moscow, Pero publ., 2019, pp. 330–335. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39227779>. Last accessed 10.04.2022.
2. Dolmatenya, Yu. V., Trandina, E. V. Features of the Metro as Area for the Organization and Development of Tourist Events. In: Topical problems of development of service sector [*Aktualnie problem razvitiya sfery uslug*]. Collection of scientific works, Vol. XIII. St. Petersburg State University of Economics, 2019, pp. 135–139. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42476132>. Last accessed 10.04.2022.
3. Podkhalyuzina, V. A. Analysis of passenger traffic in the Moscow ground public transport. *Challenges of the global world. Vestnik IMTP*, 2015, Iss. 2 (6), pp. 31–34. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24245177>. Last accessed 10.04.2022.
4. Alekseev, N. Yu., Zyuzin, P. V. Assessment of Applicability of Wi-Fi Analytics in Studies of Urban Public Transport Passenger Flow (Moscow Case Study). *World of Transport and Transportation*, 2021, Vol. 19, Iss. 3, pp. 196–208. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-6>.
5. Petrova, D. V. Modern approaches to the organisation of public transport passenger traffic monitoring in urban agglomerations. *International Journal of Open Information Technologies*, 2020, Vol. 8, Iss. 1, pp. 47–57. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42340332>. Last accessed 10.04.2022.
6. Borovikov, A. V. Analysis of passenger traffic of city bus route. *Mezhdunarodnyy studencheskiy nauchniy vestnik*, 2019, Iss. 3, Art. 46. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38318095>. Last accessed 10.04.2022.
7. Novikov, A. N., Radchenko, S. Yu., Sevostyanov, A. L., [et al]. Study of passenger flows and transport mobility of the population in the city of Oryol. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*, 2011, pp. 69–77. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17280343>. Last accessed 10.04.2022.
8. Rubtsova, K. A. Peculiarities of accounting for passenger flow on ground public transport. *Ekonomika predprinimatelstva, organizatsiya i upravlenie predpriyatiyami, otraslyami, kompleksami*, 2015, pp. 168–172. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24866446>. Last accessed 10.04.2022.
9. Berlingiero M., Calabrese F., Lorenzo G., Nair R., Pinelli F., Luca Sbodio M. AllAboard: A System for Exploring Urban Mobility and Optimizing Public Transport Using Cellphone Data. *Mobile phone Data for Development*, 2013, pp. 397–411. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-40994-3\\_50](https://doi.org/10.1007/978-3-642-40994-3_50).
10. Namiot, D. E., Nekraplonna, M. N., Pokusaev, O. N., Chekmarev, A. E. OD-matrix and passenger flow analysis. *International Journal of Open Information Technologies*, 2020, Vol. 8, Iss. 4, pp. 25–30. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42748922>. Last accessed 10.04.2022.
11. Pomatilov, F. S., Namiot, D. E. On the analysis of passenger traffic of Moscow Metro [*Ob analize passazhiropotokov Moskovskogo metropolitena*]. *Modern information technologies and IT education*, 2019, Vol. 15, Iss. 2, pp. 375–385. DOI: [10.25559/SITITO.15.201902.375-385](https://doi.org/10.25559/SITITO.15.201902.375-385).
12. Brusyanin, D. A., Vikharev, S. V., Popov, V. Y., Gorbenko, A. A., Sheka, A. S. Intelligent system monitoring passenger transport complex of the region. *Innovatsionniy transport*, 2012, Iss. 2 (3), pp. 41–43. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18225474>. Last accessed 10.04.2022.
13. Shchetinin, N. A., Koryakov, V. B., Semikopenko, Yu. V. Passenger traffic survey methodology. *European Journal of Natural History*, 2020, Iss. 3, pp. 105–108. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43172623>. Last accessed 10.04.2022.
14. Stepanchenko, I. V., Krushel, E. G., Panfilov, A. E., Lyutaya, T. P. Algorithm for simulating passenger flows at the stops of the metropolitan transport network. *Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyakh*, 2019, Vol. 10, pp. 19–23. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41261453>. Last accessed 10.04.2022.
15. Sytnik, R. A. On the question of the study of passenger traffic in urban transport and logistics systems. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2016, Vol. 7, Iss. 186, pp. 43–48. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26322476>. Last accessed 10.04.2022.
16. Yankov, K. V., Lavrinenko, P. A., Fadeev, M. S. Experience in forecasting passenger flows and socio-economic effects in accelerated railway communication in Samara–Togliatti agglomeration. *Scientific works: Institute of Economic Forecasting of RAS*, 2016, Vol. 14, pp. 622–646. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27633857>. Last accessed 10.04.2022.
17. Nakagawa, Y., Nishida, J., Asao, H., Mukoko, B., Tamura, K. Application of AMP Collectors in Nairobi CBD for Transport Planning. *Transportation Research Procedia*, 2018, Vol. 34, pp. 107–114. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.11.020>.
18. Abedi, N., Bhaskar, A., Chung, E., Miska, M. Assessment of antenna characteristic effects on pedestrian and cyclists travel-time estimation based on Bluetooth and Wi-Fi MAC addresses. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2015, Vol. 60, pp. 124–141. DOI: [10.1016/j.trc.2015.08.010](https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.08.010).
19. Kusakabe, T., Yaginuma, H., Fukuda, D. Estimation of bus passengers' waiting time at a coach terminal with Wi-Fi MAC addresses. *Transportation Research Procedia*, 2018, Vol. 32, pp. 62–68. DOI: [10.1016/j.trpro.2018.10.012](https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.10.012).
20. Hong, J., Thakuriah, P. Examining the relationship between different urbanization settings, smartphone use to access the Internet and trip frequencies. *Journal of Transport Geography*, 2018, Vol. 69, pp. 11–18. DOI: [10.1016/j.jtrangeo.2018.04.006](https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.04.006).
21. Oransirikul, T., Nishide, R., Piumarta, I., Takada, H. Measuring Bus Passenger Load by Monitoring Wi-Fi Transmissions from Mobile Devices. *Procedia Technology*, 2014, Vol. 18, pp. 120–125. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2014.11.023>.
22. Martin, J., Mayberry, T., Donahue, C. [et al]. A Study of MAC Address Randomization in Mobile Devices and When it Fails. *US Naval Academy, Proceedings on Privacy Enhancing Technologies*, March 2017, 23. DOI: [10.1515/popets-2017-0054](https://doi.org/10.1515/popets-2017-0054).

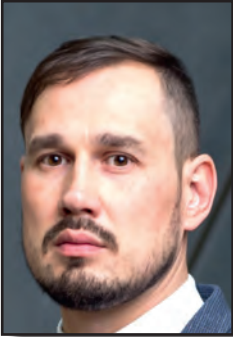
Information about the author:

**Alekseev, Nikolai Yu.**, master in transport planning of National Research University Higher School of Economics, project leader of Sitronics Group, Moscow, Russia, [Alekseev-trn@mail.ru](mailto:Alekseev-trn@mail.ru).

Article received 21.06.2022, approved 11.07.2022, accepted 13.09.2022.



# Using Artificial Intelligence to Identify Damaged Goods by the External Appearance of the Package when Performing Logistics Operations



**Maxim I. Malyshev**

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

✉ [dicorus@mail.ru](mailto:dicorus@mail.ru).

Maxim I. MALYSHEV

## ABSTRACT

A proposed promising method for recognising damaged goods by external appearance of packaging using a learning neural network considers the predicted long-term growth in the volume of transported goods, the increasing influence of economic and territorial factors on transportation processes, the complexity of logistics services and the increase in requirements for their quality, the spread of information technology and the improvement of artificial intelligence tools.

The objective of the study is to describe the principles of using an artificial neural network to identify damaged goods by their external appearance. The relevance of the problem is confirmed by data on damage to goods during transportation. The methods used in the study help collecting and analysing data, describing and comparing existing and promising technologies, monitoring and modelling the process of cargo handling, and summarising the results. The analysis of common and promising methods of prevention and detection of cargo damage is backed by the results of research on detecting defects on various surfaces and recognising signs and colours in motion using intelligent technologies.

The problems of recognising damages on packaging in complex and unfavourable conditions for machine vision are solved with the help of a convolutional neural network. In accordance with the proposed algorithm, image capture is carried out using standard video surveillance cameras. From the image entered into the neural network, fragments with characteristic features are distinguished, which are further checked for compliance with damage patterns. Following damage contour analysis, the neural network recognises the cargo as damaged. The process of training the neural network and integrating the proposed tool throughout the supply chain ensures the recognition of actually damaged goods and elimination of errors associated with minor permissible damage and packaging features. The proposed concept does not require the installation of additional equipment and does not imply a significant cost of damaged cargo recognition services. The paper offers and describes processes of video recording of the cargo flow, loading an image into a neural network, and a model for recognising damaged cargo by the external appearance of the package.

**Keywords:** cargo transportation, search for damaged cargo, improvement of logistics processes, convolutional neural networks, cargo flow video recording, supply chain management, tools for intelligent transport systems.

**For citation:** Malyshev, M. I. Using Artificial Intelligence to Identify Damaged Goods by the External Appearance of the Package when Performing Logistics Operations. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 4 (101), pp. 205–216. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-5>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.  
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

## INTRODUCTION

Cargo handling is a necessary component of any production processes and logistics activities. The volume of cargo transportation grows with an increase in the volume of production and sales of goods. There is a growing need for high-quality logistics services.

The movement of goods and the exchange of information is carried out between companies located in different socio-economic conditions, significantly far from each other, in hard-to-reach areas or megacities and industrial centres, which leads to the complication of transportation processes and to an increased likelihood of cargo damage.

The logistics system is created and operated to provide safe and efficient services to shippers and consignees [1].

At the same time, the reliability of transportation and transport services constitutes one of the main requirements for logistics companies, and that is largely determined by safety of transported and stored goods [2; 3].

The cargo can be considered damaged if its qualitative or quantitative characteristics change during transportation. As a result of cargo damage, negative consequences occur for all persons interested in high-quality transportation.

For consignees, such negative consequences are the damage associated with the loss of the marketable state and useful properties of the cargo, and, as a result, failures in business processes. For persons responsible for transportation, this is the need to compensate cargo owners for losses associated with damage to cargo, a decrease in the level of trust and the likely loss of customers and of competitive positions in the transport services market, etc.

Damage to cargo during transportation is not only an extremely undesirable event itself, but also entails additional difficulties for both transport service providers and consignees.

In accordance with the rules of law in the field of transportation of goods, ensuring the safety of goods with proper packaging and compliance with other requirements on the part of the consignor is the responsibility of the carrier or the person responsible for transportation immediately after acceptance and before the release of goods, and is mandatory stipulated in the contract of transportation [4].

Damage to the cargo is one of the reasons for the claims of cargo owners related to transportation of goods [5].

The carrier may not detect damage to the cargo and hand the damaged cargo to the consignee, and the recipient may find out that the cargo is damaged later in its warehouse or from its customers. Damage to cargo occurred at the beginning of the supply chain can be detected much later at the point of use of the transported goods.

Obtaining information on the total number of goods damaged during transportation and related operations and other statistical data in this area is quite difficult.

Nevertheless, the urgency of the problem of cargo damage is evidenced by the growing demand for insurance of transportation objects, including against damage during transportation and the resulting losses.

The volume of the global logistics insurance market is increasing annually and, according to forecasts, by 2027 it can reach 76 billion US dollars [6].

The number of insured events is also increasing, and when transporting groupage cargoes, large transport companies may by default include cargo insurance in the transportation tariff [7].

Harm to transport companies from damage to cargo for various reasons during transportation can be a significant part of the total loss of cargo.

Modern scientific research in the field of transport operations and cargo transportation steadily tends to improve transportation and warehouse processes using modern technologies, most of them being related to digitalisation of the transportation management system and the transport industry as a whole, as well as to digitalisation of transportation safety [8].

Integration of modern digital technologies into the transport system allows modelling the transportation process and managing traffic flows using intelligent systems.

Intelligent transportation systems (ITS) themselves, together with breakthrough technologies such as the Internet of Things, digital control, cloud services, big data, unmanned vehicles, fully robotic warehouses, etc., are necessary to implement concepts that meet the future-expected requirements for the quality of life and business processes, such as smart cities or completely automated production, 3D industry and industry 4.0.

ITS should ensure delivery of goods of proper quality, without damage, which, in turn, requires creation and use of technologies for timely

detection of damaged goods. The concepts of smart cities or transportation managed by ITS, in themselves, do not imply an increase in problems with damaged cargo, nor significant costs for detecting and preventing cargo damage.

Transport strategy adopted in the Russian Federation provides for pilot project for railways that should ensure reduction in loss and damage to cargo by ten times [9]. This means a significant reduction in damage to cargo, but still a complete elimination of the possibility of damage to cargo is not expected even in the long term.

There are some difficulties with development of ITS. If large transport and manufacturing companies have the resources to introduce new technologies, then carriers that do not have such capacity are in no hurry to use them [10].

Transport and logistics companies have the potential to provide remotely a full range of information services, including those related to transportation of goods. However, the use of existing technologies is not carried out in full [11].

This is due to the need to install additional expensive equipment and develop or purchase software, which requires significant investments and may not provide an immediate economic effect. According to representatives of business, including transportation business, sometimes it is better to wait until the technology becomes available.

Thus, damage to cargo during transportation, storage and related operations is an urgent problem for all participants in the transportation and logistics process and the entire economy. The problem should be solved by all the companies involved in the logistics process together, regardless of the size of an enterprise.

Artificial intelligence and machine learning technologies can be the most effective tools for solving fundamental transport problems, including the task of significantly reducing cargo damage and timely detection of damage within cargo traffic. At the same time, such tools should be available to absolutely all interested parties, which means that they involve the use of cheap, but quite effective technologies without additional equipment.

In the context of increasing global competition embracing the transportation market and the influence of other factors of economic growth, including the expected spread of effective digital technologies, the restructuring of the world economy and the change in the balance between

economic centres, there will be worldwide growth in requirements for the quality of local, national, and international cargo transportation and related, including logistics, cargo handling. The transport industry needs technology to cost-effectively identify damaged goods before they are released to the recipient.

The *objective* of the study is to develop a concept that facilitates the creation of such a technology.

The problem of damage to goods can be deemed relevant since the requirements for reliability of logistics system, safe and efficient transportation process are among key requirements addressing cargo carriers and forwarders, and that the data on cargo insurance testify considerable volume of goods damaged during transportation. Digitalisation is among prevailing trends in improvement of transportation processes, and tools based on implementation of artificial neural networks are among most promising ones.

The tasks of the study were focused on revealing visually recognisable damage to packaging, describing process of image capturing, its downloading into the neural network and identifying the damage.

## RESEARCH METHODS

The study followed the algorithm described below.

The conducted review of open sources of information (websites of transport companies, government authorities, thematic publications, etc.) was followed by their analysis.

The trends in science and technology, including those related to the development of ITS and the planned transition to an intensive, innovative type of development of the transport industry and the entire economy allowed to draw conclusions on the need to use artificial intelligence and machine learning to solve the revealed problem.

The further analysis referred to some of the technical and technological solutions offered on the market designed to detect damage to the packaged cargo, including without opening the package.

A review of scientific research in the field of application of artificial intelligence technologies in the transport industry helped to focus on specific knowledge from such areas of machine learning as obtaining and recognising images of real-world objects for their visual verification



and measurements (machine vision), creating an artificial neural network and the tools used for this, algorithmizing of neural network learning and the use of neural network tuning methods.

The suggested approach to use artificial intelligence to identify damaged goods analysing the external appearance of the package was based on the transfer of the skills of specialists who have long experience in direct work with various goods and are able, based on their experience by the organoleptic method by the appearance of the package, to determine the degree of safety of the goods and the cause of damage in case, if any, to a set of computer programs.

It was determined what damage is visible on the packaging and how the external appearance of the package changes due to these damages.

The study contains a description and graphical interpretation of the process of video capture of packaged goods, their recognition, identification of signs of damage to the package and the relationship between the state of the package and possible damage to the cargo.

## REVIEW OF APPROACHES TO THE PROBLEM

Many studies in the field of damage to goods consider the problems of damage and loss of goods in conjunction with the problems of damage to vehicles and transport units (intermodal containers) in which these goods were transported.

In this case, scientific research is aimed at identifying and eliminating the main causes of road accidents, as well as at reducing the risk of accidents and potential damage by choosing the right rolling stock and transportation route, monitoring the condition of drivers, identifying their abnormal behaviour, etc. Artificial intelligence technologies are used to eliminate factors that lead to damage to vehicles.

In recent years, deep neural network learning has also been used to model road safety [12].

However, damage to cargo may not be associated with damage to the vehicle. A significant part of the damage during transportation is caused by the damage that occurred due to the incorrect location and fastening of the transported cargo. During transportation, the cargo can be damaged due to displacement because of sliding on the surface of the body or swinging and turning over due to vibration.

To exclude such reasons, it is proposed to secure the goods with belts, ropes, chains, etc. during loading and place the goods in the body

in such a way that they remain blocked during transport and do not change their position. The stated recommendations for safe securing of loads consider the strength of the materials from which the loads and packaging are made, as well as the tightening force applied in the clamping devices used.

There are international and national rules for securing cargo on vehicles of various modes of transport, which are not always mandatory, but contain enough information and instructions to facilitate the safe loading and transportation of goods.

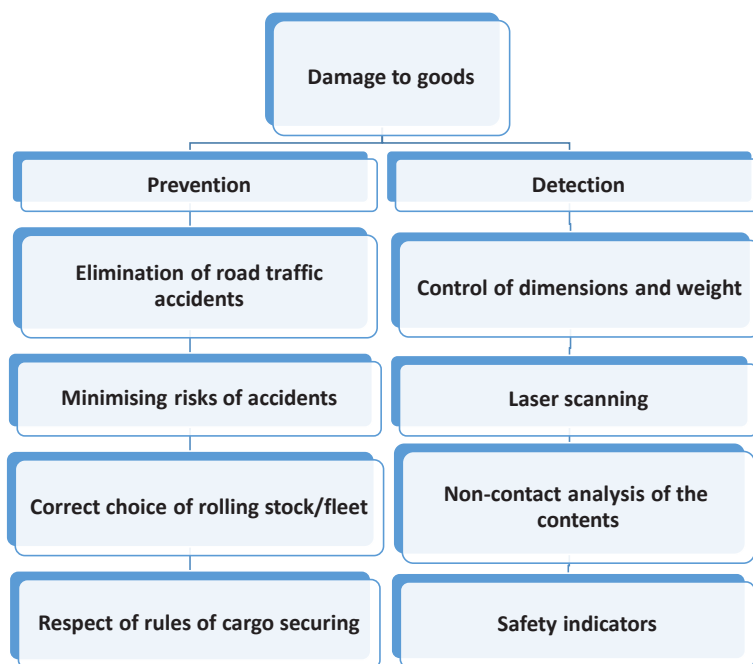
Despite the measures taken, damage to goods does occur, and therefore there is a need for timely detection of damage. Out of technological solutions to the problem of detecting damaged cargo, one can single out the control of dimensions and weight using a scanning system (infrared, laser scanning, etc.). Such control is carried out at the time of measuring the dimensions of the package in three dimensions when the packaged cargo is placed on the weighing device. The discrepancy between the actual parameters of the package dimensions or the weight to specified values indicates possible damage to the cargo (Pic. 1).

This technology requires loading the data about each checked cargo and permissible deviations into the memory of a device, as well as using of special equipment and performing additional operations with each cargo.

A fairly common way to control cargo is a non-contact analysis of the contents of the package, for example, using X-ray television equipment. But this method is used, as a rule, to identify a certain type of goods in the general flow of goods, and not to detect damaged goods.

To detect damage to goods, safety indicators can be used in the form of additional labels stuck to each package. Such labels change colour indicated on them (for example, from white to red) if the package of cargo on which they are placed was subjected to a force due to an impact above the threshold set on the label (5G or 50G overload, etc.) or to high temperatures, or to an extremely humid environment, or has deviated dangerously from an upright position, etc.

Such indicators can signal possible damage to the cargo, but such a solution again requires additional processing of each package (labelling and monitoring the status of the indicator by a specialist).



*Pic. 1. Existing methods and technologies of prevention and detection of damage to cargo [compiled by the author].*

None of the common methods, even with the utmost improvement, can be applied without adjusting the process of moving cargo, attracting specialists, using special equipment or additional materials, and so does not meet the requirements for the developed concept for identifying damaged cargo, as outlined in this study.

However, in the field of artificial intelligence and machine learning, there are approaches and methods, the combined application of which allows us to develop a technology that meets such requirements.

Solutions using artificial intelligence and machine learning have already proven themselves in the transport industry. Such solutions are more effective than standard ways to improve the efficiency of logistics operations.

It is possible to use machine vision technologies to recognise damaged cargo. However, such technologies have their own nuances. Machine vision may not be effective enough under difficult weather conditions, for example, when there is insufficient lighting, precipitation, glare from the sun or when an object is in the shade, etc., all this making difficult to detect deviations in the appearance of the package from the norm.

So, the performance of damaged cargo detection can be significantly degraded in difficult conditions [13].

This problem is eliminated in the process of neural network training. For example, the automatic (ultrasonic, eddy current, etc.) control of railway rails for damage can be replaced by the method of image processing by a convolutional neural network.

The experimental results confirm that the proposed models can, for example, detect rail surface defects in real time and show high detection accuracy [14].

In this case, damage can be recognised even under conditions that are unfavourable for machine vision.

During practical application of the deep convolutional architecture of neural networks, it was possible to recognise the colour of the sticker located on the windshield of the car and the numbers on it from the video stream received from the road camera with an accuracy of 90 to 98 % [15; 16].

In this case, damage to the controlled object can be detected even if its moves at the speed up to 100 km/h.

In the process of developing a system for detecting damage to the asphalt pavement in real time, the interdependence was revealed between the accuracy of determining damaged sections of the road and the time for processing information.

Image pixelization and segmentation provides the ability to classify damage, but requires large



Table 1

Classification of damage to cartonboard [compiled by the author]

| Damage                | Possible causes | Possibility of visual detection | Probability of damage to cargo |
|-----------------------|-----------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Impurity              | Open body       | Yes                             | No                             |
| Rupture               | Force impact    | Yes                             | Yes                            |
| Worn spots            | Abrasion        | Yes                             | No                             |
| Chemical impact       | Chemical agents | Yes                             | Yes                            |
| Thermal impact        | Overheating     | Yes                             | Yes                            |
| Colour inhomogeneity  | Wetting         | Yes                             | Yes                            |
| Dents                 | Impact          | Yes                             | No                             |
| Violation of geometry | Fall            | Yes                             | Yes                            |
| Breakage of the seals | Malicious acts  | Yes                             | Yes                            |
| Unreadable marking    | Impurities      | Yes                             | No                             |



Pic. 2. Deformed packaging. [Electronic resource]: <https://pravodeneg.net/buhuchet/uchet/primery-izderzhhek-proizvodstva.html>. Last accessed 17.07.2022.



Pic. 3. Ruptures of the packaging. [Electronic resource]: <https://www.bansarchina.com/china-quality-control>. Last accessed 17.07.2022.



Pic. 4. Packaging with traces of soaking. [Electronic resource]: <https://thegioidat.info/will-recycling-take-wet-cardboard.html>. Last accessed 17.07.2022.

computational costs, which can lead to suboptimal work in the «real time» mode [17].

The use of a multiscale convolutional neural network makes it possible to achieve high accuracy of results in the automatic detection of

cracks on an asphalt pavement regardless a complex background [18].

The upsampling module allows combination of low-level functions and continuous convolution functions to realise pixel-level prediction.

The amount of developments and practical results presented in scientific research suggests that at the moment there are real solutions, software platforms and libraries for machine learning that compile many different algorithms and allow creating a software product that can train an artificial neural network to perform the necessary functions to identify damaged goods within the cargo flow [19].

## RESULTS

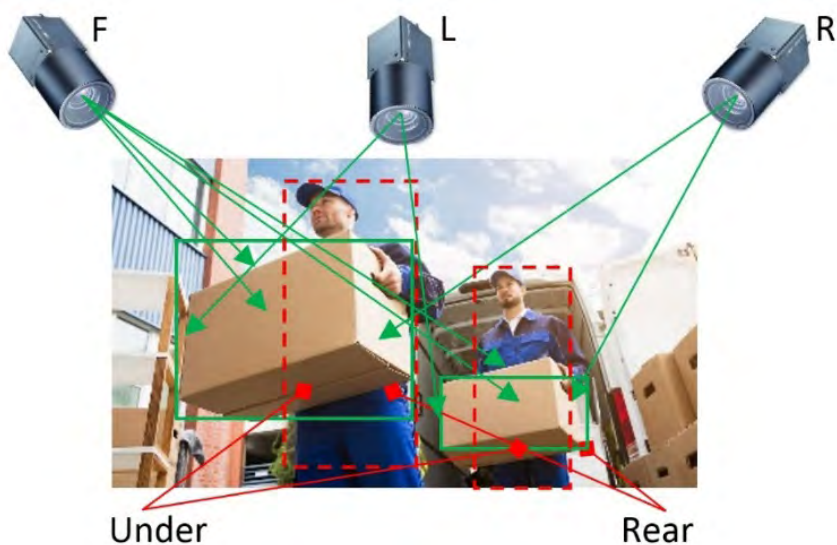
Depending on the cause of the damage, various traces remain on the packaging. Given this feature, we can assume the presence and cause of damage to the cargo basing on the external appearance of the package.

Impacts on the package, including those resulting from a damage to the vehicle, improper fastening of loads, falling out of the body, etc., can lead to its deformation (Pic. 2) or rupture (Pic. 3).

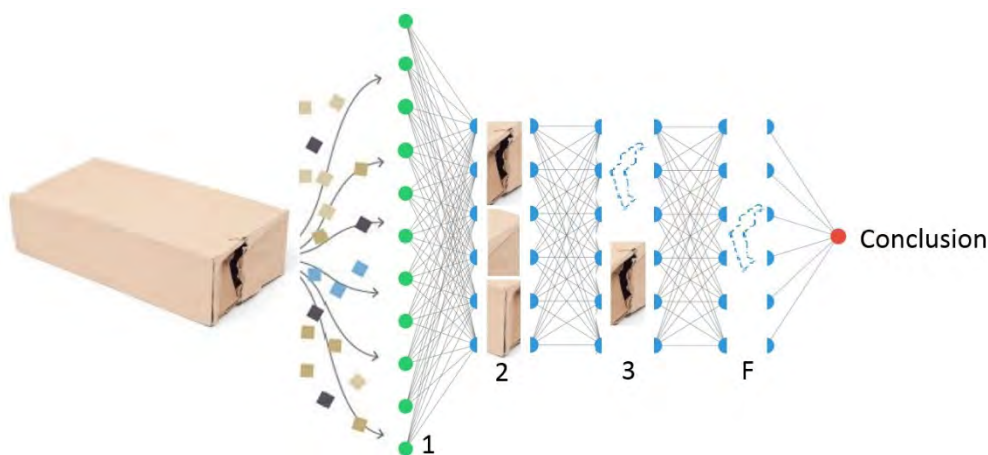
Exposure to moisture, such as rain, snow, or sea water during transportation by water, causes characteristic marks remaining on the packaging even after it has dried (Pic. 4).

Other damages such as those due to insect or rodent attack, mildew, high temperatures, chemicals, etc. also leave special traces on the packaging (Table 1).

As can be seen from Pics. 2–4 and Table 1, all damage to the carton package is quite clearly visible visually. Therefore, using the experience of processing images with a convolutional neural network, it is possible to train the neural



*Pic. 5. Video recording of a cargo flow [compiled by the author].*



*Pic. 6. Loading an image into a neural network and identifying damaged packaging [compiled by the author].*

network to recognise the cargo and detect damage to the package.

For computer processing and damage recognition, it is necessary to obtain images of the visual world from 2D video cameras synchronised with the neural network and installed at the places of loading and unloading operations [20].

Image resolution is determined by the resolution of the camera. To detail the controlled object and recognise the boundaries of defects on the package, video cameras must shoot video with a sufficiently high resolution and transmit the image without compression. The number of bits per pixel should be sufficient to detail the colour of the image, which will ensure the recognition of the contours of the damage.

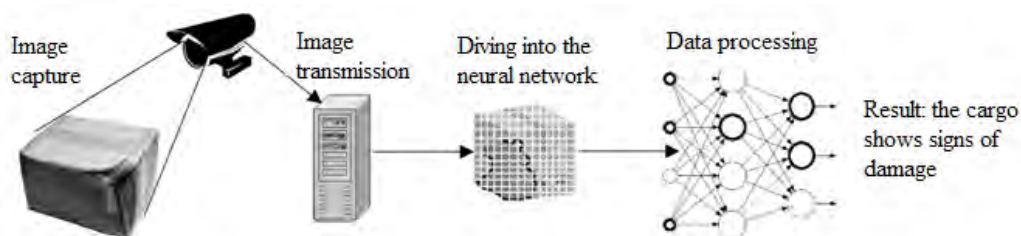
It is better to use a high-resolution camera than to develop and apply a super resolution algorithm.

These recommendations assume that it is better to use more memory to store the image and spend more time on its transfer than to increase the time of image processing and damage detection.

In case of a change in external conditions, for example, a deterioration in visibility, the neural network will recognise damage to the cargo in a higher resolution image with greater accuracy. Higher image resolution also helps detect minor, subtle damage.

To identify damaged packaging, it is sufficient to get an image obtained from one or more cameras installed on the path of the cargo





*Pic. 7. Model of damaged cargo recognition by an artificial neural network [compiled by the author].*

moving during loading and unloading operations (Pic. 5).

If three cameras are installed, as shown in Pic. 5, and the cargo gets into their visibility zone, images of the right and left sides of the package will be obtained from the cameras «R» and «L», of the front side from the camera «F» and of the top side from all cameras («R», «L» and «F») respectively.

The back (rear) and the bottom («under») sides of the package remain hidden for the cameras. In the case of moving stacked or palletised goods, only one side of the package may remain visible to the cameras. In some cases, the packaging may be completely hidden from the cameras. In such a situation, the probability of detecting damaged cargo is reduced. However, damage can be detected during depalletization of loads if they fall into the image capture area.

Using methods and algorithms for searching for an object within a video stream based on global and local features, such as colour or shape, it is possible to recognise the load (to classify an object) by key points (to load an image into the neural network), as shown in Pic. 6. Key points and samples of detected objects are extracted from a set of reference images stored in the data library.

A software platform for modelling a neural network, the number of layers and neurons in each layer, the coefficient of permissible error growth, the maximum system training time and other parameters are determined and selected in the process of its design and development.

The input layer of the neural network «1» receives all the pixels in the image. The features of the desired object are perceived by the neural network as a group of pixels that are of the greatest interest and are analysed for compliance with patterns.

The computational layers of group «2» extract features by filtering. The size and depth

of the fragments will be determined by the number and colour of pixels.

The neural network matches the colours of the packaging at different points and the contours of places that differ in colour that are then compared with damage patterns.

Merging layer «3» keeps only the desired images of existing damage.

The final layers analyse the features of the image and classify them according to the given algorithm. These layers are made up of sets of neurons that represent parts of the package image, such as damaged areas. When a sufficient number of neurons signalling damage to the package are activated, the package will be classified as damaged (Pic. 7).

The neural network needs to be trained and has the ability to improve itself in the process of analysing a huge amount of data. In this case, the initial randomly assigned weights of neurons are corrected. The adjustment is carried out until the results become acceptable and allow the neural network to function autonomously. It is possible to control the processes of learning and self-improvement of the neural network by checking the output data.

## DISCUSSION

Damage to cargo can occur for various reasons, for example, due to a road traffic accident, improper fastening of cargo in a vehicle, personnel errors during loading and unloading operations, or the influence of other external factors.

The applied technologies for detecting damaged cargo combine the obligatory presence of a specialist, the exercise of control on his part and the performance of additional operations with the cargo.

In the case when damage to the cargo is accompanied by damage to the packaging, the assumption that the cargo is damaged can be made by the external appearance of packaging.

Specialists who directly perform cargo operations, with operational experience gain skills that allow them to determine by the external appearance of the package whether the cargo is damaged or not. However, they are not always interested in the damage being detected since, among other reasons, they themselves can also damage the cargo due to an error.

If the experience accumulated by specialists is transferred to ITS through trained neural networks, then ITS will be able to detect the cargo and signal this to the carrier or other interested participants in the logistics process. Damage to the packaging may be minor, and the cargo in this case may remain intact, for example, as shown in Pic. 2. When training the neural network, it is possible to adjust the weights of the neurons in such a way that the value set in the range from 0 to 1 allows not to identify as probably damaged the goods, the packaging of which is damaged slightly only.

Packaging of goods can perform various functions. One of the main functions is to ensure the safety of goods and the optimisation of transportation processes. Within the framework of this study, packaging can supplement the set of information functions, confirming the safety of the cargo or timely warning of possible damage.

To identify the packaging, the external appearance of which is preferable to identify damaged goods, the packaging can be divided by its purpose into additional outer, transport, and consumer packaging.

Consumer packaging must retain its original appearance, as it plays an important information and aesthetic role and becomes the property of the buyer along with the goods. Sometimes consumer packaging cannot be separated from the product. Some goods, for example, food, are forbidden to sell in case of violation of the tightness of consumer packaging.

A digital intelligent expert system will be able to draw conclusions about the damage to the cargo if the damaged packaging falls into its visibility zone. Consumer packaging during transportation can be hidden by transport packaging, and therefore its recognition becomes difficult.

Additional outer packaging includes large-sized containers, for example, intermodal containers, a skeleton crate made according to the individual dimensions of the transported

goods, pallets for moving goods by forklifts and other packaging options that protect cargoes from the effects of an external aggressive environment and optimise transportation, loading, unloading and warehouse processes.

Since additional outer packaging in the course of transport operations, while not losing ability to perform basic functions, acquires a worn appearance and does not allow to visually evaluate the condition of the goods inside it, it is not a preferable option for recognition of damage.

Meanwhile, if there is significant visually noticeable damage to the external packaging, for example, deformation or traces of flooding of the intermodal container, chemical or thermal effects on the packaging film of palletised goods, then such damage can be recognised, and the cargo inside can be referred to as probably damaged.

Transport packaging is a casing for transporting goods and protecting them against damage. One or more goods may be put in the transport package. Unlike consumer and outer packaging, the goods are packed in transport packaging at the final stage of production, at the point of departure, but the packaging itself is not transferred to the final buyer.

Transport packaging can be of various size, shape, and design, made of wooden materials, metal, paper and corrugated cardboard, polymers, glass and other materials. Various types of cardboard packaging is among the most popular types of transport containers.

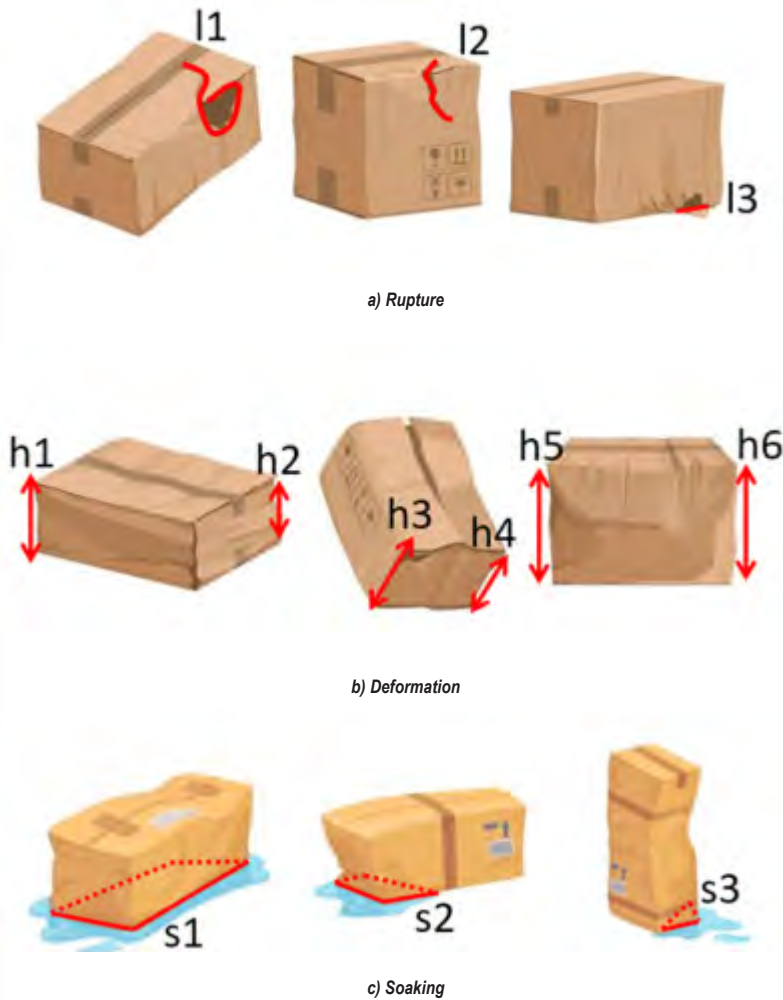
While the cargo damage recognition system is capable to detect any damaged cargo by its external appearance of the package if the damage is visually noticeable, this study is focused on the recognition of damaged cardboard packaging of the correct shape.

Transport packaging may consist of an external body and internal lids, inserts, liners, fillers, cushioning pads, and other elements. Due to the protective functions and design features of the transport package, its damage does not always cause damage to the cargo.

Thus, damage to the packaging can be divided into package damage indicative of damage to the cargo, package damage requiring additional inspection and package damage not implying damage to the cargo.

Specialists directly performing loading and unloading operations and while gaining experience learn to attribute damage to packaging to one of three types, based on the state of





Pic. 8. Parameters of damage to packaging [developed by the author].

damage. It is possible to transfer these skills to an intelligent expert system by defining or establishing criteria for damage to the packaging, indicating the likelihood of damage to the cargo.

Such parameters, for example, to identify damage caused by external forces to the cardboard package, can be the length and width of the breakage, the depth of the dent, the area of soaking, the value of the deformation (Pic. 8).

When the package is broken, the length  $l1$  will indicate a high probability of damage to the cargo inside the package, the length  $l2$  – the need for additional check, the length  $l3$  does not imply damage to the cargo (Pic. 8a).

In case of deformation of the package, the ratio of heights  $h1$  and  $h2$  will indicate damage

to the cargo, the ratio of heights  $h3$  and  $h4$  will indicate the need for additional check, the ratio of heights  $h5$  and  $h6$  – the absence of damage to the cargo (Pic. 8b).

When the package gets wet, the spot area  $s1$  will indicate damage to the cargo, the area  $s2$  – the need for additional inspection, the area  $s3$  – the absence of damage (Pic. 8c).

The limit values of the parameters  $l$ ,  $h$  and  $s$  are set experimentally, then adjusted in the process of accumulation by the neural network of data on damage to the package, indicating damage to the goods, and then those values become characteristics of damage patterns.

According to the results of a year-long expert assessment of damage to goods transported in cardboard packaging with corner inserts of foam

material and additionally packed with consumer polyethylene packaging, it was revealed that when the package's rupture is more than 15 centimetres long, in 80 % of cases the cargo is damaged. With ruptures of less than 15 centimetres, in 90 % of cases, the cargo remained intact. When more than 30 % of the package area was soaked, traces of moisture were also found on the cargo.

In the presence of an inner package, depending on its type, damage to the outer packaging, indicating damage to the goods, may be attributed to damage to the package, requiring additional inspection or not implying damage to the goods.

Since visual inspection, except in obvious cases, does not permit to establish for certain whether the cargo is damaged or not, damaged packaging indicates only the likelihood of damage to goods. The condition of the cargo in the damaged packaging requires additional checking, as in the case of detection of damaged packaging by a specialist performing loading and unloading operations.

While accumulating experience, the neural network will learn to recognise barely noticeable damage to the load and minor deformations.

This will contribute to improving the quality of the entire process of cargo transportation, since it is possible to exclude even the slightest change in the appearance of the package only by improving the transportation process and the related cargo operations. Timely made, before delivery to the consignee, recognition of damaged packaging helps to increase the efficiency of all transportation processes of the logistics company.

In some cases, the neural network will be forced to recognise a package that has artificial signs of damage as damaged. For example, when the lower part of the package has a pattern similar to the traces of soaking. This task is solved by synchronisation with the image of the package obtained during loading at the place of production of goods, which in turn will require the introduction of appropriate technologies throughout the supply chain and the integration of neural network systems into a single ITS.

The introduction of ITS, capable of recognising damaged cargo not only at the point of departure, but also at all points of transshipment and during loading, will determine at what stage of the logistics process the cargo was damaged.

If the cargo in the package was damaged not in the process of transportation, the proposed

concept allows to exclude the fault of the carrier and confirm high-quality transportation.

The proposed concept allows not to install new expensive equipment. In addition to video surveillance cameras, which might already be installed at the sites of cargo operations, only devices for the functioning of the neural network are needed.

Besides, it will be possible to collect and process large statistical data on the localisation and causes of cargo damage, which may contribute to a significant change in the situation with the damage to goods during transportation and cargo operations.

The scientific effectiveness of the development of the concept is associated with the accrued knowledge in the field of identifying damaged goods by the external appearance of packaging in the process of performing logistics operations through the machine vision and convolutional neural networks.

The technological efficiency of the proposed method can be determined through a comparative analysis of the rapidity of cargo condition control operations and the level of necessary qualification of the personnel of supply chain companies. These indicators positively characterise the proposed method in comparison with others.

Evaluation of the economic efficiency of the proposed method is possible using qualitative and quantitative indicators.

## CONCLUSION

The study has demonstrated the possibility of identifying damaged goods by the external appearance of their packaging using artificial neural networks.

The proposed concept is based on technologies that make it possible to train a neural network to recognise damaged loads, as this is done by a person, a specialist in this field, based on his knowledge and experience. This approach to identifying damaged goods and the cause of damage is not currently widely used.

The vector of the study corresponds to the general trends in the development of cargo transportation and logistics processes using tools recognised as advanced by the predominant part of the scientific community.

Following the review of existing developments in the field of recognition of various objects, including those with complex shapes, small sizes and remote from image fixation tools, conclusions were drawn about the feasibility of using high-



precision neural networks to train ITS to recognise packaging that has even slightly changed its appearance.

The study also describes the characteristic signs of some damage.

The study resulted in the idea of using artificial intelligence tools to recognise damaged cargo by the external appearance of the package.

## REFERENCES

1. Sezer, A. A., Fredriksson, A. Paving the Path towards Efficient Construction Logistics by Revealing the Current Practice and Issues. *Logistics*, 2021, Vol. 5, Iss. 3, p. 53. DOI: <https://doi.org/10.3390/logistics5030053>.
2. Roth, M., Klarmann, A., Franczyk, B. Future Logistics – Challenges, Requirements and Solutions for Logistics Networks. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 2013, Vol. 7, Iss. 10, pp. 898–903. [Электронный ресурс]: [https://www.researchgate.net/publication/260401798\\_Future\\_Logistics\\_-\\_Challenges\\_Requirements\\_and\\_Solutions\\_for\\_Logistics\\_Networks](https://www.researchgate.net/publication/260401798_Future_Logistics_-_Challenges_Requirements_and_Solutions_for_Logistics_Networks). Доступ 17.06.2022.
3. He, Yi; Sun, Changxin; Huang, Helai; Jiang, Liang; Ma, Ming; Wang, Pei; Wu, Chaozhong. Safety of micro-mobility: Riders' psychological factors and risky behaviors of cargo TTWs in China. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2021, Vol. 80, pp. 189–202. DOI: 10.1016/j.trf.2021.04.001.
4. Kozorezova, O. N. Liability of the carrier for non-preservation of the cargo under the contract of carriage by rail. *Aktualnie nauchnie issledovaniya v sovremennom mire*, 2021, Iss. 2–9, pp. 137–140. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44878063>. Last accessed 17.06.2022.
5. Gorburokov, V. Transport logistics. Professional Rules [*Transportnaya logistika. Pravila professionalov*]. Litres, 2022, 330 p. ISBN 978-5-4493-9452-1.
6. StrategyR Influencer Driven. Logistics Insurance World Market Report. Highlights & Report Index. [Electronic resource]: <https://www.strategyr.com/market-report-logistics-insurance-forecasts-global-industry-analysts-inc.asp>. Last accessed 17.06.2022.
7. Busel, A. A. Object of insurance as an essential condition contract of transport insurance of goods. *Vestnik of Polotsk State University. Part D. Economic and legal sciences*, 2021, Vol. 1, Iss. 6, pp. 160–164. [Electronic resource]: <https://vestnik-d.psu.by/jour/article/view/921>. Last accessed 17.06.2022.
8. De Andres Gonzalez, O., Koivisto, H., Mustonen, J., Keinänen-Toivola, M. Digitalization in Just-In-Time Approach as a Sustainable Solution for Maritime Logistics in the Baltic Sea Region. *Sustainability*, 2021, Vol. 13 (3), pp. 1173. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13031173>.
9. Zakharov, S. V. Theoretical and methodological approaches to formation of the methods and tools for analysis of the state policy of the transportation system development. Rostov-on-Don, LLC Forwarder, 2021, Iss. 22, pp. 62–69. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5115680>.
10. Malyshev, M. I. Innovative tools for ensuring omnichannel in supply chain management [*Innovatsionnie instrument obespecheniya omnikanalnosti v upravlenii tsepyami postavok*]. Technologies of the information society: Proceedings of XVI International Branch Scientific and Technical Conference, Moscow, March 02–03, 2022. Moscow, LLC Publishing house Media publisher, 2022, pp. 256–258. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48667738&pf=1>. Last accessed 17.06.2022.
11. Holubčik, M., Koman, G., Soviar, J. Industry 4.0 in Logistics Operations. *Transportation Research Procedia*, 2021, Vol. 53, pp. 282–288. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.040>.
12. Singh, R., Sharma, R., Akram, S. V., Gehlot, A., Buddhi, D., Malik, P. K., Arya, R. Highway 4.0: Digitalization of highways for vulnerable road safety development with intelligent IoT sensors and machine learning. *Safety Science*, 2021, Vol. 143, pp. 105407. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105407>.
13. He, Yunze; Deng, Baoyuan; Wang, Hongjin; Cheng, Liang; Zhou, Ke; Cai, Siyuan; Ciampa, F. Infrared machine vision and infrared thermography with deep learning: A review. *Infrared Physics & Technology*, 2021, Vol. 116 (2), pp. 103754. DOI: 10.1016/j.infrared.2021.103754.
14. Jiang, Hua Feng; Hao, Yuan; Yun, Qing Hu; Jun, Lin; Shi, Wang Liu; Xiao, Luo. Research on deep learning method for rail surface defect detection. *IET Electrical Systems in Transportation*, 2020, Vol. 10, No. 4, pp. 436–442. DOI: <https://doi.org/10.1049/iet-est.2020.0041>. [Electronic resource]: <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1049/iet-est.2020.0041>. Last accessed 17.06.2022.
15. Kheraki, A., Ouazzani, R. E. Deep convolutional neural networks architecture for an efficient emergency vehicle classification in real-time traffic monitoring. *IAES International Journal of Artificial Intelligence (IJ-AI)*, 2022, Vol. 11, Iss. 1. DOI: <http://doi.org/10.11591/ijai.v11i1.p.110-120>.
16. Yépez, J., Castro-Zunti, R., Cho, Y., Seok-Bum, Ko [et al]. Real-time CVSA decals recognition system using deep convolutional neural network architectures. *IET Intelligent Transport Systems*, 2021, Vol. 15, Iss. 11, pp. 1359–1371. DOI: <https://doi.org/10.1049/itr2.12103>.
17. Uspenskiy, I. A., Yukhin, I. A., Ryabchikov, D., Rembalovich, G. K. Development and testing of a conveyor for detecting various types of vehicles when transporting agricultural products from the field. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2020, Vol. 832, Iss. 1, pp. 012059. DOI: 10.1088/1757-899X/832/1/012059.
18. Song, Weidong; Jia, Guohui; Zhu, Hong; Jia, Di; Gao, Lin. Automated Pavement Crack Damage Detection Using Deep Multiscale Convolutional Features. *Journal of Advanced Transportation*, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/6412562>.
19. Malyshev, M. I. Review of research in the field of improving the efficiency of multimodal transportation based on technological solutions [Obzor issledovaniy v oblasti povysheniya effektivnosti multimodalnykh perevozok na osnove tekhnologicheskikh reshenii]. *Scientific Bulletin of Moscow State Technical University of Civil Aviation*, 2020, Vol. 23, Iss. 4, pp. 58–71. DOI: 10.26467/2079-0619-2020-23-4-58-71.
20. Raut, R., Krit, S., Chatterjee, P. Machine Vision for Industry 4.0: Applications and Case Studies. CRC Press, 2022, 322 p. ISBN 9780367637125. ●

### Information about the author:

**Malyshev, Maxim I.**, Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Management of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia, [dicorus@mail.ru](mailto:dicorus@mail.ru).

Article received 18.07.2022, approved 06.09.2022, accepted 08.09.2022.



# Blockchain Technology in Supply Chains of Transport Hubs in the People's Republic of China



**Bingzhang Li**

*Don State Technical University, Rostov-on-Don / Jinan, Shandong Province,  
People's Republic of China.  
✉ [runa666.6@mail.ru](mailto:runa666.6@mail.ru).*

Bingzhang LI

## ABSTRACT

Efficient cargo transportation at major transport hubs its management is critical to global trade. Existing systems for organising cargo transportation do not provide traceability, transparency, information security and immutability of data stored and exchanged during various operational processes. Consequently, this negatively affects the performance of transport hubs.

The use of digital applications of information and communication technology (ICT) in the transport industry can lead to highly automated processes and more cost-effective solutions. Cargo transportation requires the use of real-time data exchange between the various stakeholders involved in the process. Traditional ICT-based logistics systems use a centralised architecture to allocate and process data and services. However, centralised logistics systems cannot provide secure real-time data access, operational visibility, and trust between participating organisations.

Automating various functions of transport hubs with the help of the Internet of Things (IoT) and cloud computing can

adequately improve the performance of transport hub operations. These operations include automation of the vehicle interface, container yards, intra-port logistics, and the terminal reception area.

The objective of the research is to increase the efficiency of organisational and functional activities of transport hubs through digitalisation. Significant are the methods of applying an integrated approach that combines confirmation of feasibility of participation of a port facility in servicing the cargo traffic in terms of delivery «just in time» and of economic feasibility of participation of the facility in the channel of cargo flows to save operating costs. Possibilities for improving the process are considered from the point of view of integration of information exchange between different participants using end-to-end technologies in transport hubs, namely, the blockchain concept, to optimise operations by integrating and exchanging information between participants in the transportation process.

**Keywords:** cargo transportation, blockchain, intelligent transport systems, Internet of things, smart contract, end-to-end technologies, transport hub.

---

*For citation:* Li Bingzhang. Blockchain Technology in Supply Chains of Transport Hubs in the People's Republic of China. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 4 (101), pp. 217–228. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-6>.

---

*The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.  
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.*

## INTRODUCTION

The transition of the People's Republic of China to a consumption-driven economy, coupled with improved accessibility of interior regions, has turned the transport industry's focus away from outward orientation towards meeting the needs of new domestic markets. In such a large and diverse market, many transport companies have succeeded by experimenting and finding their niche. The complexity of the market results in the fact that the largest operators with streamlined processes and more adaptable and scalable business models are in an even better position [1].

As domestic consumer markets grow, and investment expands into new interior regions, China's transport and logistics infrastructure is facing new challenges and attracting new attention from businesses and government authorities. High economic growth in China, while stimulating demand for logistics services, also creates problems for logistics operators.

As the service sector and high-tech industries develop in the country, companies will need stronger logistical support to improve their efficiency. In turn, this will require better management practices, greater use of information technology and systems capable of integrating and controlling movement of goods and materials in supply chains both within and outside the country. Particular attention is paid to the operations of transport hubs, where material flows are processed when moving from one mode of transport to another.

The port infrastructure of China's major transport hubs suffers from several shortcomings in terms of efficiency and maintenance [2]. First, mainland berths average 22 to 27 crane movements per hour, compared to 30 movements per hour in Hong Kong. Secondly, bottlenecks often occur as containers are slowly reloaded from the port to other modes of transport, often requiring at least two crane movements for each operation. Bureaucracy is the third problem hindering efficiency. Shipping companies must obtain permits from customs, the State Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine, the State Administration of Foreign Exchange and other government agencies. Fourth, cargo loss in China is higher than in Hong Kong or Singapore due to theft and damage. Finally, shipping is still

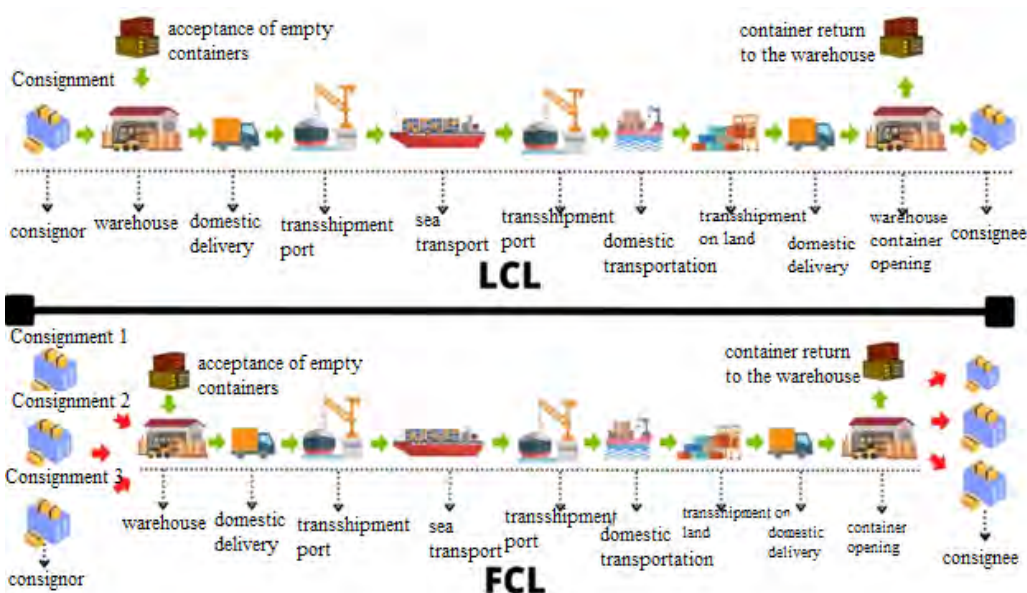
a relatively restricted sector since foreign companies are only allowed to have a minority stake in Chinese port facilities.

Since neither the shortage of barges nor the congestion of waterways are serious problems, the government of the PRC is striving to modernise the infrastructure of water transport. Currently, there are more than 1,200 ports in China offering berths for 33,000 ships, including 800 deep water berths capable of handling 10,000 tonne ships. A significant increase in container transshipment capacity is planned for 2025. The PRC authorities have entered negotiations with international shipping companies and committed themselves to develop regulations requiring shipping lines to provide information on freight rates. These are all signs of increased transparency in the industry.

The PRC government is also taking advantage of foreign interest in building ports. The Shanghai Port Authority has already begun implementing a 20-year, \$14.5 billion project that provides for construction of 52 berths along a 13-kilometer embankment for the ships with a draft of at least 15 meters at Yangshan Deep Water Port. The container terminal on the mainland is being designed by Hamburg Port Consulting, a subsidiary of the German Group, Hamburger Hafen und Lagerhaus-AG [2].

The vision of the Shanghai port is to become a global hub operator, and its main strategy is to further develop the port while expanding to the world. The Shanghai port has focused on two aspects of the development strategy, hardware and software ones, and this will make the port more competitive. To do this, it is necessary to focus on operational and management aspects such as IT communications, EDI system, port marketing, internalisation policy to attract potential users of the port. A transport hub is a junction of two or more modes of transport, the technological interaction of which is ensured by an appropriate set of devices and means, as well as by organisational measures [3].

Today, the supply chain network is well integrated with information technologies such as enterprise resource planning (ERP), RFID, GPS, sensor technology, video technology, and barcode technology. However, in most cases, these technologies work separately and are not interconnected. To overcome the aforementioned problems, operation of the transport hub can be



Pic. 1. Types of import-export operations in the transport hub [performed by the author].

radically improved through digitalisation and, in particular, through introduction of a blockchain technology.

The fast-growing pace of world trade requires cost-effective, fast, and highly reliable port operations and cargo transportation management systems. The use of digital applications of information and communication technologies (ICT) in the transport industry can potentially result in highly automated processes and more cost-effective solutions [4].

Cargo transportation at transport hubs requires the use of real-time data exchange between various stakeholders involved in the process. This is important, especially during transportation in intermodal transport hubs, for more efficient use of resources and infrastructure. Traditional ICT-based port logistics systems use a centralised architecture for hosting and processing data. However, centralised logistics systems cannot provide secure real-time data access, responsiveness, traceability, and trust between participating organisations.

Close coordination of stakeholders involved in the logistics chain of the transport hub contributes to rationalisation of cargo planning processes. Therefore, it can provide efficiency by reducing the total turnaround time of a vehicle in a transport hub. Effective cargo transportation planning and decision making also requires a secure and transparent flow of information

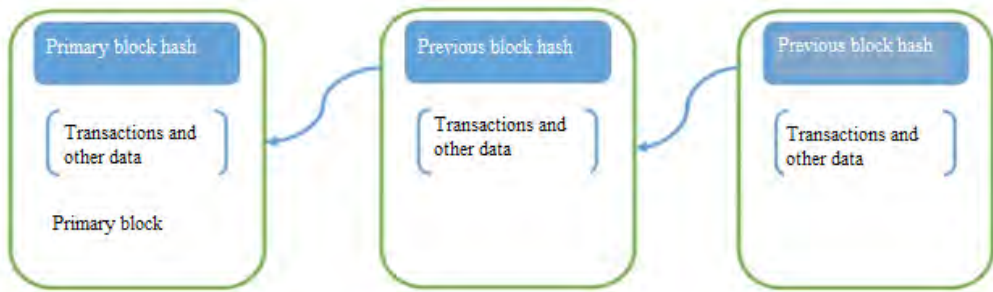
between various stakeholders. These operations include automation of the vehicle interface, container yards, intra-port logistics.

With the growth of international trade and development of the economy, the volume of container transportation in China's ports is growing rapidly. FCL and LCL are two terms that are used in the field of import-export operations in sea cargo transportation. If a consignee has a large consignment of goods that will take up a whole container, then he books FCL. The abbreviation stands for «Full Container Load». FCL belongs to one consignee. Even with partial loading and belonging to one customer, the cargo will be considered FCL [4].

If the volume of the consignment cannot fill the entire container, the consignee books only a space in the common container. In such a container, goods of other consignees are transported, who pay not for the entire container, but only for a space. This is called LCL delivery – an English abbreviation that stands for «Less-Than Container Load». LCL is cheaper than FCL. It makes sense to book LCL when delivering small loads and consignments of goods. LCL business processes in most ports in China continue to be complex and inefficient.

*Blockchain* is a data structure that represents a ledger entry or transaction record. Each transaction is digitally signed to ensure its authenticity. This ensures the integrity of the





Pic. 2. Blockchain data structure [performed by the author].

ledger and existing transactions [5; 6]. These digital ledger entries are then distributed across multiple computers or servers, each acting as a node. These additional nodes and layers of infrastructure serve to provide consensus on the state of the transaction at any given second; they all have copies of the entire existing authenticated ledger distributed among them.

Blockchain uses cryptography to ensure that if any changes are made to a block, users can instantly notice those changes [7]. This property makes the blockchain an ideal data structure for storing records.

As the name suggests, blockchain consists of a chain of blocks. Each block consists of transaction record data and related information contained in each transaction. Each transaction has a timestamp associated with when it was written to the block chain. Subsequent blocks require the identifier (or hash) of the previous block, and this is the link that links all the blocks together (Pic. 2).

The advantages of blockchain over existing systems are obvious. Blockchain generates a single source of data through decentralisation compared to existing systems, which are mostly centralised. In addition, the blockchain provides an increased level of security since the data are immutable. In existing systems, data are mostly verified externally (for example, through an audit), while in a blockchain, external verification is not required. The data on the blockchain have a date and time stamp that serves as proof of confirmation. All these transactions are stored online in blocks. This technology is used in cryptocurrencies. For example, in the Bitcoin Satoshi blockchain, blocks contain information about transactions in Bitcoin [8]. The block indicates who and to whom sends bitcoins.

As the blockchain keeps track of movement of all bitcoins since their creation, it is possible to check through the ledger who exactly owns this or that bitcoin at any given time. This ownership mechanism that helps keep track of bitcoins is called the current «state» of the blockchain. A transaction only happens when it is added to a block. As new blocks are added, the state of the blockchain is updated. Since all transactions are updated in the blockchain, the user can access the blockchain at any time and see which transactions have been made [9; 10].

Blockchain is a revolutionary new technology that facilitates peer-to-peer (P2P) value transfer without the need for a centralised intermediary [11]. Blockchain technology paired with smart contracts is a reliable method for automating business rules within an efficient and trusted mechanism. A smart contract is a self-executing piece of code that runs on a blockchain platform. Predefined rules between participating organisations are translated into smart contract functions to establish trust.

There are three popular types of blockchain: public, federated and completely private [12]:

- *Public blockchain* is the most common form of blockchain. In it, anyone and everyone has the ability to confirm or view any transaction that occurs on the network, upload the code and run a public node on their local device, confirming transactions on the network and participating in the consensus process. This entitles a person to participate in the process that determines which blocks are added to the chain and what the current shape and size of the blockchain is.

Several modern public Blockchain protocols based on Proof of Work consensus algorithms are open source. This implies that anyone can take part in them without permission. Bitcoin,

Ethereum, Monero, etc., can be quoted as examples there-of.

- *Completely private blockchain.* The consensus mechanism is centralised in the hands of an organisation, that is assigned a task to verify and add all transactions to the blockchain. A network based on a private blockchain therefore does not need to use mechanisms such as « Proof of Work» or «Proof of Stake», which are difficult to be implemented and expensive.

- *Federated blockchains* are mainly used in the banking sector. They are a kind of private blockchains that are controlled not by a single node, but by several pre-defined nodes. The consensus process in federated blockchains is different from the consensus process in public blockchains. Here the consensus is controlled by a pre-selected set of nodes. The right to read the blockchain can be public or restricted to participants. Such blockchains are also known as private permissioned blockchains.

In the context of the supply chain, transparency refers to the information available to companies participating in the supply chain. For the supply chain to be transparent, it is important that the origin of a product or service can be traced from the beginning to the end of its life cycle. Thus, transparency and traceability are interrelated.

Blockchain technologies provide increased transparency in the supply chain, but more importantly, they create an immutable and distributed type of record of custody due to the nature of the protocol, which is well suited for traceability applications. However, there are problems that need to be overcome. An issue how the technology will be developed and managed is among them.

- *Permissioned blockchain* is a distributed ledger that is not public. Only users with permissions can access it. Users can only perform certain actions granted to them by general ledger administrators and must identify themselves via certificates or other digital means. Both public and permissioned blockchains have their constraints and benefits. It is necessary to ensure compatibility of permissioned and public blockchains, which will require standards and agreements.

Another major problem is associated with regulations and legislation. A complex array of regulations, maritime law and commercial codes govern property and ownership rights on the

world's shipping lanes and in their multiple jurisdictions.

Of various proposed benefits of blockchain discussed earlier, one major benefit refers to the form of smart contracts. A smart contract can be understood as a set of algorithms and programs within digital environment that can be partially or completely executed or enforced upon the occurrence of certain conditions. In the blockchain context, smart contracts have pre-written logic; stored and replicated on a distributed storage platform; are executed/triggered by a network of computers and may result in an update of the ledger. In general, they work on the basis of « if-then» statements, which are executed and checked by many computers to ensure validity. The main function of the blockchain is to provide users with a distributed reliable storage. Similarly, the main function of a smart contract is to provide users with distributed reliable computing.

A smart contract consists of a computer code that is used to automate the «if-then» parts of a traditional contract. The advantage of a computer code within a blockchain is that the likelihood of manipulation is very low since there are fewer potential disputes. The code is reproducible on many computers and is run by those computers that have come to an agreement on the results of executing the code.

Smart contracts provide the following benefits:

- *Self-executing conditions:* «if-then» clauses create a self-executing contract. This reduces the need for interaction between process participants. If a certain set of conditions is met, the seller gets paid. If the conditions are not met, then one of the parties automatically receives a penalty.

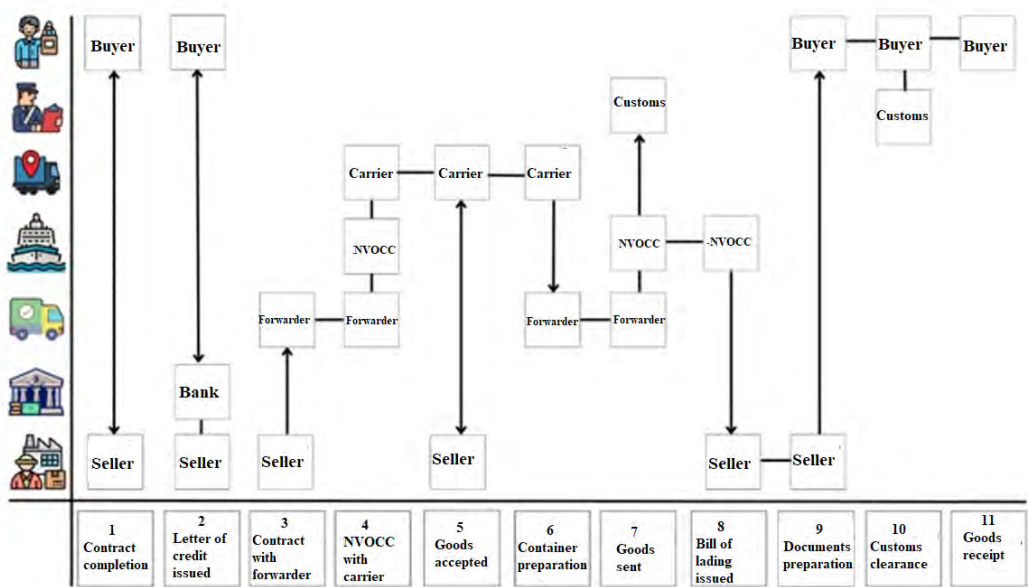
- *Security:* the smart contract is encrypted and distributed between nodes. This ensures that it will not be lost or changed.

- *Speed and cost:* due to automation, the process is very fast. For example, the seller does not have to wait for payment if everything is correct. As soon as the conditions in the smart contract are met, the payment process starts automatically. It also helps eliminate middlemen, which saves costs.

Despite the great advantages, smart contracts also have disadvantages:

- *Human factor:* People are involved in coding and programming, which means that there





Pic. 3. The currently adopted process of transportation of containers As-Is [performed by the author].

may be possible loopholes in the codes. This makes the smart contract susceptible to hacker attacks.

- *Legislative complexity:* smart contracts are currently not subject to legal regulation. However, the rapid rise in prices for cryptocurrencies has led to the fact that many countries have begun to regulate the crypto-currency industry. Smart contracts are legal documents that will be executed on a digital platform. They are currently outside the legal and regulatory framework, and the parties may conclude them based on their own understanding. If smart contracts become regulated and will require regulatory approval, then the effectiveness of smart contracts will be lost.

- *Contractual terms:* smart contracts are mostly useful for «if-then» execution. Many contracts are specifically written with clauses to create a channel for arbitration. For example, the force majeure clause is found in most shipping contracts.

We have considered various supply chain challenges in transport hubs and how various blockchain applications such as smart contracts can be useful in bringing transparency and traceability to current supply chains. Three main problems for shippers in the supply chains of transport hubs were identified: barriers to trade, technology adoption in the maritime industry, and inefficient contracting practices. They cause shippers to face unnecessary delays and costs due to paperwork overload.

## RESULTS

### As-Is – Delivery Process

The current process of shipment of goods and the importance of documentation are shown in Pic. 3.

1. Here is the interaction of the buyer and the seller in the sale and purchase of goods:

- The seller and the buyer enter into an agreement for the sale of goods. This happens through traditional paper contracts. Contracts are signed physically, so they are exchanged by courier or express mail.

- In most cases, when the transaction is of high value and when the buyer and seller do not know each other, the seller asks the buyer to provide a letter of credit (LOC) from the buyer's bank. LOC is a document from a bank that guarantees payment.

2. The buyer and seller interact with their banks to issue and confirm LOC:

- The buyer requests LOC from his bank. When the buyer requests LOC, he also specifies the conditions under which the payment must be made. For example, on what day and time the seller should ship the goods, or from which port the goods should be shipped. In accordance with these instructions, the bank issues the payment.

- The issuing bank then sends a copy of the letter to the seller's bank, along with a list of documents that will be required from the seller for payment.

- When the negotiating bank confirms LOC status, it then informs the seller. The seller needs to carefully study the terms of LOC since payment is made based on LOC.

3. After the contracts are signed and LOC is approved, the seller prepares to ship the goods:

- The seller starts preparing the goods in accordance with the agreed conditions (e.g., the type of packaging, the appearance of the product, etc). These points are usually specified in the original contract.

- In parallel, the seller is also looking for a freight forwarder to help the buyer deliver the goods. The seller usually sends a request for a freight quote, which can be sent by e-mail, by phone or in an online form. The freight quote request will contain all the information needed to transport the goods.

- Based on the information provided, the freight forwarder prepares a freight quotation, breaking down the individual elements of the freight, including margins. They comprise:

- Information about the route: where and from where the goods are sent.

- Method of transportation and equipment.

- Details of the shipment, including dimensions, weight, and a description of the goods, such as whether they are dangerous.

- After the seller accepts an offer from a certain forwarder, he provides him with the following documents:

- Commercial invoice: suppliers selling goods to importers issue a commercial invoice. Like other invoices, it is proof of sale and includes the same information as a standard invoice. Its difference is that it also includes information about the cargo required for customs clearance.

- Certificate of origin: in most countries, this document is required for customs clearance, calculation of possible duties, as well as for preliminary reporting of cargo.

- Material Safety Data Sheet. This is a declaration for dangerous goods.

- A letter of instruction from the consignor. It contains shipper/consignee information, routing information, Incoterms, etc.

4. After the freight forwarder receives the contract and relevant documents from the seller, he proceeds to book capacity with the trucking company and with the NVOCC (Non-Vessel Operating Common Carrier). NVOCC is an

aggregator that collects containers from multiple freight forwarders (FF) or shippers and then book capacity.

- FF sends a request for quotation to several trucking companies and NVOCCs. FF may enter into a contract with a trucking company/NVOCC based on a long-term contract in the spot market. The trucking companies and NVOCC then review the terms and conditions and accept or reject the request accordingly. This is usually done via email.

- NVOCC provides FF with a booking confirmation that includes the booking reference, equipment size and quantity, transportation plan, loading route with arrival time at port, etc. This confirmation is sent by email.

- FF then sends the information to the seller via email.

5. After the seller has received the information from FF, the shipper prepares the goods for acceptance by the carrier.

The delivery man arrives at the seller's facility to pick up the goods. It also collects the following documents:

- Container Weight Declaration: The document will include shipper's data, consignee's data, container type, commodity, total product weight and type of cargo.

- Booking confirmation that FF should have provided to the seller.

6. After the goods are taken from the seller's warehouse, the carrier takes the goods to the FF warehouse. Then the freight forwarder starts preparing containers, which are sent to the port for loading. The freight forwarder consolidates volumes from different clients and prepares containers with a full load. This allows increasing capacity and minimising costs:

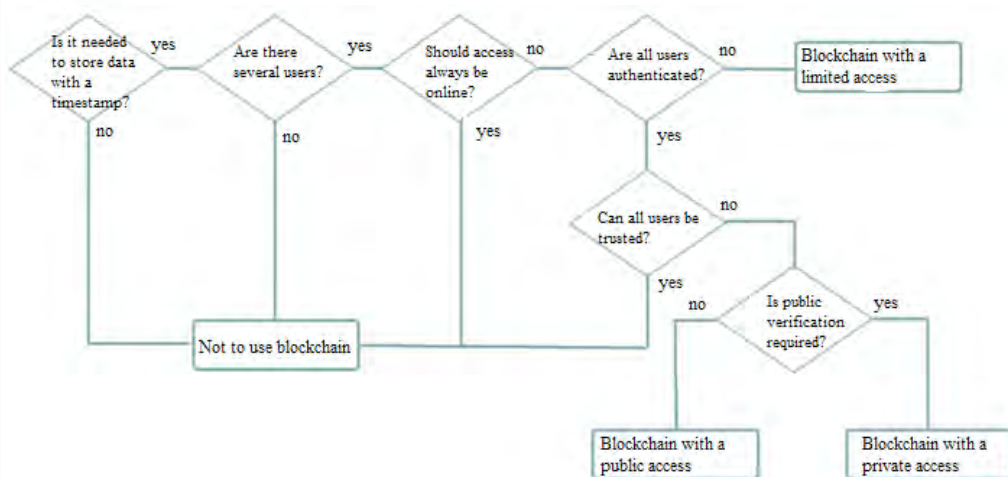
- FF also ensures the completeness of the packing list containing information such as shipper/consignee, equipment/skids/cranes, packing details, cargo description and HAZMAT.

- The carrier collects the containers for delivery to the port along with the packing list. Packing list and booking confirmation are required by the carrier to obtain permission to enter the port.

7. Then the carrier arrives at the port and receives an entry permit, presenting the relevant documents. However, FF has more work to do at this stage:

- FF liaises with customs to clear goods. This is a difficult task, as customs checks all documents





Pic. 4. Structure for deciding on the need for a blockchain [performed by the author].

and makes sure that the declarations are correct. If there are any discrepancies, the goods are not loaded onto the ship and if they remain in the port, it causes a demurrage cost.

- FF also liaises with NVOCC for Bill of Lading. The Bill of Lading (BOL) is an important document that contains full details of the goods, their shipment, condition, etc. This document serves as proof that the goods have been cleared through customs and shipped on the specified date and time. Any discrepancy in the BOL means that the buyer will not be able to take possession of the goods.

- NVOCC issues a draft BOL and sends it to FF, who checks all the details and corrects errors if any.

8. After completion of all formalities and approval by FF of a draft BOL, the containers are loaded onto the vessel and sent on a voyage:

- NVOCC issues 3 original copies of BOL to FF.

- These are paper copies delivered to the seller in person or via FF courier service. This process takes time depending on the location of the seller.

9. After receiving copies of BOL, the seller keeps one copy:

- He sends the second copy to the bank to receive payment. BOL contains all the important information required to receive payment, such as time of departure of the goods, the quantity, the port of departure, etc.

- The third copy is sent to the buyer, who needs it to receive the cargo at the port of destination. This copy is usually sent via courier or express mail.

10. Once the buyer receives BOL, he prepares all the necessary documents that he will need to obtain ownership of the goods. After the cargo arrives at the port of destination, the importer must submit the following documents to receive the cargo:

- Bill of lading: The bill of lading is one of the main import documents for customs clearance of imports. The bill of lading is a measure of the «country's total outgoing remittances» regulated by the Reserve Bank and the Customs Department. The bill of exchange must be submitted within thirty days after arrival of the goods into the customs territory. After the import customs formalities are completed, a «pass order» is issued for such an invoice. Once the importer or his authorised customs agent receives an «export order» from the appropriate customs officer, the imported goods can be removed from customs.

- Commercial invoice.

- Bill of lading.

- Import license.

- Insurance certificate.

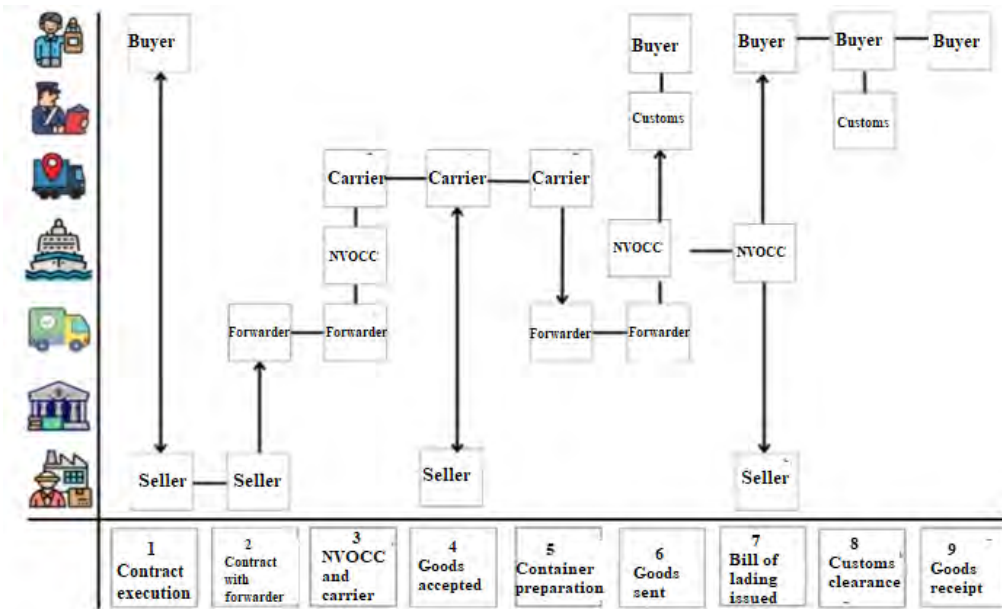
- Purchase order.

- Credit sheet.

- Any other tax documents.

11. If all documents are correct, the goods are released from the port and the buyer takes possession of them. However, if there are any discrepancies in the documents, the goods are not released, and the buyer bears additional costs in the form of demurrage.

The As-Is delivery process has many constraints that make it cumbersome and costly.



Pic. 5. To-Be process of transporting containers [performed by the author].

This is extensive documentation that is required at every stage. As a rule, contracts with high value and high risk are executed on paper to maintain legal status. Besides, all documents submitted for customs clearance are usually printed on paper. Paying fines for shortcomings in work is a serious problem. In most cases, the shipper or carrier does not pay for deficiencies in service. Contracts, as a rule, are free verbal agreements transferred to paper [13].

Another aspect that creates barriers is the need for a bank guarantee. Generally, the buyer is expected to provide the seller with a letter of credit (LOC) as a guarantee that the seller will be paid after certain conditions are met. The banks of both sides are involved in this process, and the seller does not ship the goods until he is satisfied with received LOC. This is especially true for small buyers [14].

The problem is that LOC only describes some general terms, such as port of shipment, time of shipment, quantity of shipment, etc., however, as a rule, there is no condition in it that speaks of the quality of the goods received. Thus, even if the supplier ships defective goods, he will receive payment from the bank in any case, if LOC conditions are met.

As-Is container shipping is inefficient and costly. And it is the blockchain as a tool that can help solve many of the problems of this process and make it more efficient. The diagram shown

in Pic. 4 explains why the blockchain might be suitable for re-engineering an existing process.

Based on the diagram above, we have determined that for our existing model, we need a private permissioned blockchain. Below are the facts for deciding on the type of blockchain we need:

- We will need timestamped data and there will be multiple participants such as seller, buyer, forwarder, and customs.
- We do not have a single trusted third party.
- All participants are known but not trusted.
- We do not need an external audit.

The first step towards blockchain implementation is that the buyer, seller, freight forwarder, NVOCC, and customs all join the blockchain. It will be a private permissioned blockchain where different parties have different access rights. For example, customs cannot view information about the cost of goods [15].

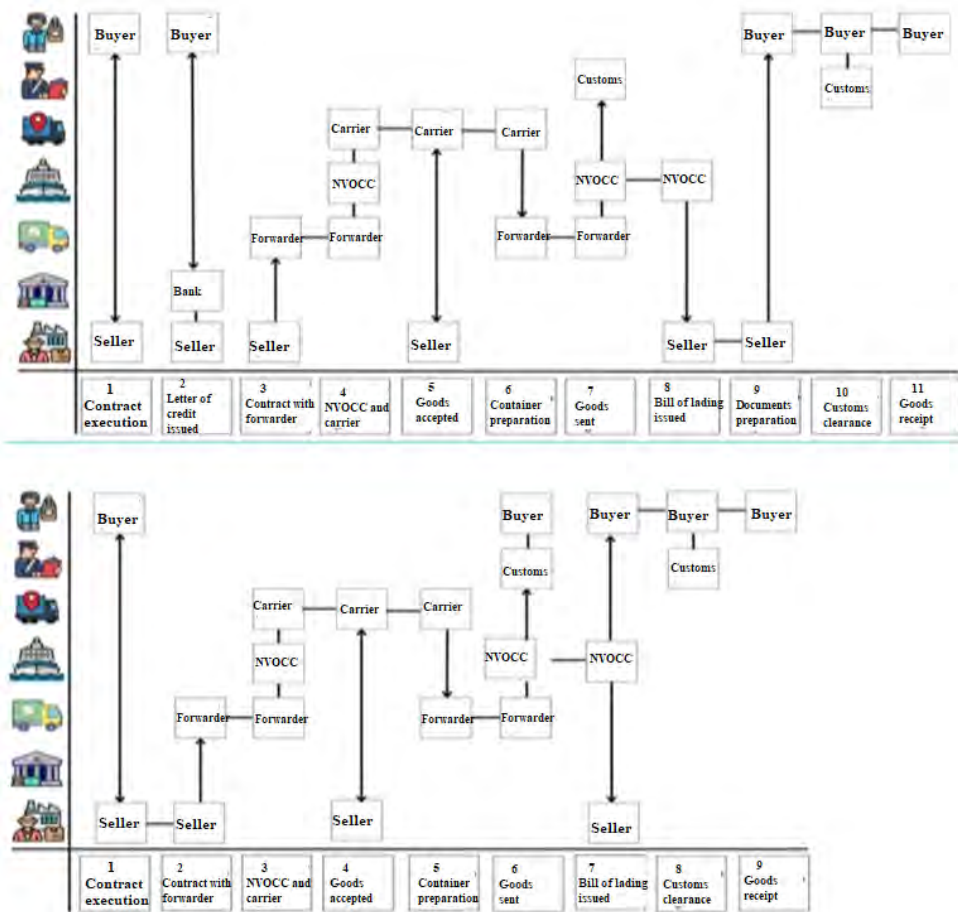
### To-Be – Delivery Process

To-Be process consists of the following steps:

1. Buyer and seller enter into an agreement as follows:

- The contract is executed as a smart contract through the blockchain.
- A bank may not be required as a party to a blockchain-enabled platform. A smart contract is a self-executing contract based on certain if-then clauses. Money can be stored in





Pic. 6. Process As-Is and To-Be [performed by the author].

cryptocurrency. If all the conditions in the contract are met, the seller receives the money, otherwise the money is held within the dispute.

2. The seller concludes an agreement with a forwarder (FF).

3. After finishing work on the contract with FF, he signs a contract with NVOCC and a trucking company. All information is transmitted through the blockchain.

4. The carrier receives all the necessary information from the seller. Details such as collection time, details, etc., are sent to the driver of the vehicle. The carrier may or may not join the blockchain. The shipper is usually a subcontractor and does not need to upload any special documents, so the process will not be affected if the shipper is not on the blockchain.

5. The carrier then delivers the goods to the FF warehouse, where the container is prepared for shipment.

6. The information is then transmitted to NVOCC/sending partner via the blockchain. This information is required by NVOCC to prepare the bill of lading. FF no longer needs to have physical copies of documents to submit at the port. All necessary information, such as commercial invoice, packaging data, bill of materials, etc., is transmitted to customs electronically via blockchain by the freight forwarder or seller:

- The blockchain process does not require production of physical documents. This will save FF time as he will be able to check the documents at customs electronically.

- After the carrier picks up the cargo from the supplier, it goes directly to the port. Customs has all the necessary information through the blockchain. The only document the carrier may need is an entry permit.

- When the cargo is in the port, the customs officer can conduct a physical inspection of the

goods based on the information provided by the shipper via the blockchain.

7. After customs clearance, NVOCC is preparing the shipment. The bill of lading is generated electronically and transmitted to the customs of the seller and the buyer via the blockchain. There is no more need for a physical copy.

8. When the cargo arrives at the destination port, the buyer does not need to collect all the documents. All documents are transmitted to the port authorities and customs via the blockchain. Customs officers control goods against documents uploaded via the blockchain.

9. After the control, the buyer takes possession of the goods.

Comparing both processes, As-Is and To-Be, in Pic. 6, we can see possible improvements. The number of steps in the process has been reduced from 11 to 9, indicating an increase in efficiency. Another important point is that the bank is no longer a participant in the process. Thus, the number of intermediaries is reduced.

In steps 1 and 2 of To-Be process, we use smart contracts between buyer, seller, and forwarder instead of traditional paper contracts. This makes the process more efficient and dynamic. This will help to minimise inefficient contracting practices.

In step 7 of To-Be process, we note that the bill of lading (BOL) is now transferred over the blockchain to both the seller and the buyer. This is a key improvement. Usually, BOL is emailed to the buyer or seller. Thus, there is a risk that BOL may be lost. If the buyer fails to present BOL at customs, he risks receiving a penalty for cargo demurrage in the port. In the blockchain process, such risks will be minimised.

In general, using blockchain, we see that data move faster along the chain, the use of paper documentation is limited, and the contracting practices become more efficient. In addition, since there is mutual trust between different participants, no external validation of the data is required [16].

Incorporating blockchain into the delivery process can have many benefits. The need for physical documentation is greatly reduced. The seller and the buyer can save a lot of time otherwise lost due to paperwork. All documentation is transmitted electronically to partners such as the freight forwarder, NVOCC

and, most importantly, customs. Customs officers receive documents in electronic form for each shipment.

A significant advantage of the blockchain here is that the customs can trust the transmitted data. The data uploaded to the blockchain will be date- and time-stamped. Also, if customs or any of the parties want to edit the documents or change the timestamp, they will have to get the approval of the majority of the participants in the system. Thus, neither the customs officer nor other parties can easily make changes. Changes will be kept. In existing systems, we can achieve this level of permissions, but the system remains centralised. The difference that blockchain brings to the system is decentralisation and the fact that all parties must agree before changes can be made.

The report (2017) by the Global Supply Chain Subcommittee of the Customs Operations Advisory Committee (COAC) has assessed the applicability of blockchain for trade operations. The group proposed 14 blockchain use cases [17]. These included ideas such as collection and tracking of licenses, permits and licenses from partner government agencies, reporting on certificates of origin and qualification of products under free trade agreements, carnets TIR, and tracking movement of bonds.

In addition, using the blockchain, we can initiate payments based on performance. Shippers and carriers usually don't get paid for poor service from either party. This issue can be solved with the help of smart contracts. Since smart contracts use an «if-then» clause to make payments, either party can punish the other party based on the shortcoming in the service provided [18].

## CONCLUSION

The suggested model for applying blockchain technology to transport hub supply chains requires all parties involved to adopt the blockchain. This can be a difficult task, especially when it comes to customs. First, the customs of each country must implement the blockchain and accept documents received through it. This may involve multiple approvals and will take time. Secondly, the customs office of the country of destination must also be linked to the customs office of the country of origin to ensure a smooth flow of information. This raises the question of compatibility.



Currently, different blockchains are incompatible, which means that a blockchain that uses bitcoin as a currency cannot trade with an Ethereum blockchain that uses Ethereum. He will have to convert bitcoin into fiat currency (fiat currency is a currency declared legal tender by the government but not backed by a commodity), and then buy ethers with this fiat currency.

Blockchain can act as an aid to and improve the existing process in the transportation industry. Thanks to the immutable nature of the blockchain, it has the potential to build trust between the participants in the transportation process, such as customs, shippers, freight forwarders, etc. Since knowledge of the capabilities of information technology is an important point in the design of an integrated information management system for a transport hub, the study refers also to technologies available for tracking cargo and vehicles, communication and management of the transportation system.

## REFERENCES

1. Marvin, R. Blockchain in 2017: The Year of Smart Contracts. PCMag, December 12, 2016. [Electronic resource]: <https://www.pcmag.com/news/blockchain-in-2017-the-year-of-smart-contracts>. Last accessed 21.08.2022.
2. Hyung-Geun, Kim. The Role of logistics industry in China national economy – An Input-Output analysis. *Chinese Studies*, 2013, Vol. 45, pp. 281–302. DOI: 10.14378/KACS.2013.45.45.281.
3. Yi, Lin; Xiaojun, Duan; Chengli, Zhao; Li, Da Xu. Complex Systems and Complexity. In: *Systems Science*, 1<sup>st</sup> ed. CRC Press, 2013, 38 p. eBook ISBN 9780429112812. DOI: <https://doi.org/10.1201/b13095-11>.
4. Eremina, L., Mamoiko, A., Bingzhang Li. Use of blockchain technology in planning and management of transport systems. *E3S Web Conf., Key Trends in Transportation Innovation (KTTI-2019)*, 2020, Vol. 157, Article Number 04014, 8 p. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015704014>.
5. Li, Bingzhang, Zirianov, V. Blockchain in agricultural supply chain management. Blockchain in agricultural supply chain management. *E3S Web of Conferences*, January 2021, Vol. 273 (4), pp. 08029. DOI: 10.1051/e3sconf/202127308029.
6. Nozdrev, S. China in the system of world finance. *World Economy and International Relations*, 2016, Vol. 60, Iss. 10, pp. 29–40. DOI: <https://doi.org/10.20542/0131-2227-2016-60-10-29-40>.
7. Weber, I., Xu, X., Riveret, R. [et al]. Untrusted Business Process Monitoring and Execution Using Blockchain. 14<sup>th</sup> International Conference on Business Process Management (BPM 2016). Springer International Publishing, Business Process Management, 2016, pp. 329–347. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-45348-4\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-319-45348-4_19).
8. Khamenehmohammadi, T. Cross Case Analysis in Shipping and Logistic Industry Supply Chains: Blockchain Qualities in Stakeholder Value Proposition. Theses Dissertation. Ottawa, Carleton University, 2021, 130 p. [Electronic resource]: <https://curve.carleton.ca/2d36dc9e-531f-41ff-ae40-2e267e09a18d>. DOI: <https://doi.org/10.22215/etd/2021-14483>.
9. Bauk, Sanja. Blockchain conceptual framework in shipping and port management. Conference lecture. Universitat Politècnica de Catalunya. *Iniciativa Digital Politècnica*, 2022. [Electronic resource]: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/369103>. DOI: <http://dx.doi.org/10.5821/mt.10848>.
10. Zhang, Z., Figliozzi, M. A. A Survey of China's Logistics Industry and the Impacts of Transport Delays on Importers and Exporters. *Transport Reviews*, 2010, Vol. 30, 26 p. DOI: <https://doi.org/10.1080/01441640902843232>.
11. Yu, Nannan; De Jong, M.; Storm, S.; Mi, Jianing. The growth impact of transport infrastructure investment: A regional analysis for China (1978–2008). *Policy and Society*, 2012, Vol. 31, pp. 25–38. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polsoc.2012.01.004>.
12. Chen, Lurong; De Lombaerde, P. China moving up the value chain: What can be learned from the Asian NICs? *International Area Studies Review*, 2013, Vol. 16, Iss. 4, pp. 407–430. DOI: 10.1177/2233865913507441.
13. Zhang, Junping; Wang, Kunfeng; Lin, Wei-Hua; Xu, Xin; Chen, Cheng. Data-Driven Intelligent Transportation Systems: A Survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2011, Vol. 12, pp. 1624–1639. DOI: 10.1109/TITS.2011.2158001.
14. Luan, Xin; Cheng, Lin; Yu, Weiwei; Zhou, Jie. Multimodal Coupling Coordination Analyses at the Comprehensive Transportation Level. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2019, Vol. 3, pp. 27–33. DOI: 10.16097/j.cnki.1009-6744.2019.03.005.
15. Yeung, H. W.-C. Rethinking the East Asian developmental state in its historical context: finance, geopolitics and bureaucracy. *Area Development and Policy*, 2016, Iss. 2 (1), pp. 1–23. DOI: 10.1080/23792949.2016.1264868.
16. Junjie, Hong; Zhaofang, Chu; Qiang, Wang. Transport infrastructure and regional economic growth: Evidence from China. *Transportation*, 2011, Vol. 38, pp. 737–752. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11116-011-9349-6>.
17. Li, Bingzhang; Eremina, L. V. Development of the transport corridor «The New Silk Road» in China. Materials of the International Conference «Scientific research of the SCO countries: synergy and integration» – Reports in English. Part 2. Beijing, PRC, December 12, 2018, pp. 208–215. ISBN 978-5-905695-84-1. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/files/eb/2ybU3sAQIUFy.pdf>. Last accessed 21.08.2022.
18. Eremina, L., Mamoiko, A., Semchugova, E., Shatalova, E., Volohov, A., Li, Bingzhang. Innovative Use of Blockchain Technology in the Logistics Industry. In N. Lomakin (Ed.). Conference: Finance, Entrepreneurship and Technologies in Digital Economy. *European Proceedings of Social and Behavioural Sciences*, 2021, Vol. 103, pp. 629–638. DOI: <https://doi.org/10.15405/epsbs.2021.03.79>. ●

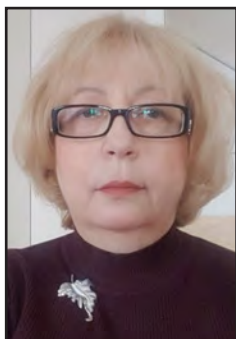
### Information about the author:

Li, Bingzhang, Ph.D. student at Don State Technical University, Rostov-on-Don / Jinan, Shandong Province, China, [runa666.6@mail.ru](mailto:runa666.6@mail.ru).

Article received 02.08.2022, approved 07.09.2022, accepted 18.09.2022.



# Conceptual, Organisational and Technological Solutions for Development of Digital Platforms for Managing Transportation along International Transport Corridors



Galina V. BUBNOVA



Alexander E. BOREYKO

**Galina V. Bubnova<sup>1</sup>, Alexander E. Boreyko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Russian University of Transport, Moscow, Russia.

<sup>2</sup> LLC Intelligent transport technologies, Moscow, Russia.

✉ <sup>2</sup> [Alexborei@inteltech.center](mailto:Alexborei@inteltech.center).

## ABSTRACT

Creation and development of ecosystems in the field of transport and logistics is inextricably linked with development of digital platforms that integrate information exchange processes and ensure interaction of participants in these business ecosystems. In this context, modern business ecosystems in the field of transport and logistics are becoming a new form of organising participants in the transportation process (participants in the supply chain), and digital platforms underlying them are becoming a digital tool for ensuring their coordination and effective management.

Currently, development of digital platforms within the framework of building business ecosystems in transport and logistics, including international transport corridors, is taking place in the EU states, several Asian states, as well as in the Eurasian Economic Union (EAEU). The implementation of these projects requires the development of scientifically based approaches in terms of determining the principles for building these digital platforms, as well as of the development of organisational and technological solutions to ensure their creation and operation.

The objective of the study presented in the framework of this article was to study organisational, technological and legal issues of multimodal transportation along international transport corridors (ITC), aimed at developing conceptual, organisational and technological solutions that ensure construction, operation and development of digital platforms for managing transportation along the ITC, corresponding to the real needs of the transport and logistics system, the current legal norms, the modern and future developments of digital technologies in transport industry.

The authors of the article proposed a set of refined principles for formation of digital platforms to ensure development of international transport corridors, including within the ecosystem of digital transport corridors of the EAEU. The study has resulted in development of top-level architectural solutions, key parameters of information exchange between digital platforms of the ecosystem of digital transport corridors of the EAEU as part of the project currently being implemented to form a digital platform of international transport corridors.

**Keywords:** digital transport and logistics systems, digital platforms for formation and development of international transport corridors.

**For citation:** Bubnova, G. V., Boreyko, A. E. Conceptual, Organisational and Technological Solutions for Formation of Digital Platforms for Managing Transportation along International Transport Corridors. *World of Transport and Transportation*, 2022, Vol. 20, Iss. 4 (101), pp. 229–239. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-7>.

**The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.**  
**Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.**

## INTRODUCTION

The ongoing digital transformation of transport and logistics systems determines the need to change the scientific paradigm of transport systems management, to search for new approaches to organising the transportation process and effective interaction of all participants in the supply chain, from the component supplier, product manufacturer, logistics and transport companies, and ending with the marketplace operator and the end consumer of the product. The key trend in this digital transformation is formation of business ecosystems, primarily in the field of e-commerce, as well as in related sectors of the economy.

The most important principle of such business ecosystems, in our opinion, is the departure from the model of direct competition and the transition to a model of balanced competitive coexistence and mutually beneficial partnership.

Besides, formation and functioning of business ecosystems is impossible without the development of digital platform solutions, which today are turning into a new type of business process integration tool and formation of new organisational forms of «digital monopolies». Entry into this ecosystem of a new company, product or service is associated with a significant entry barrier (including on the principle of «friend or foe»). Even more problematic is the exit from the ecosystem that provides promotion of products and services, including the issues of ordering, delivery and payment for goods or services, after-sales maintenance, and customer service.

International scientific sources contain a significant number of publications on formation and development of business ecosystems. However, as a rule, these publications deal with processes related to ecosystems in the field of banking, telecom, and entertainment. At the same time, there are practically no publications related to development of business ecosystems in the fields of transport and logistics. The issues of development of these business ecosystems, as well as key factors related to their formation and functioning, including creation and use of digital platform solutions, in our opinion, are not disclosed in full.

Insufficient development of conceptual approaches to formation of business ecosystems in transport and logistics, the use of digital transportation management platforms, including those along international transport corridors, slow down digitalisation processes in the domestic

transport and logistics system and make it difficult to develop design solutions for the use of digital transportation management tools.

## Key Trends and Vectors of Development of Global Transport and Logistics

Currently, the global transport and logistics system, the key element of which is the network of international transport corridors (ITC), is undergoing a period of fundamental transformations associated with the manifestation of the following key factors:

1. The ongoing geopolitical changes, sharp politicisation of international relations and introduction by individual countries of unilateral unreasonable restrictions, freezing (in fact, confiscation) of assets, a ban on activities, including organisation of transportation.

The global and long-term nature of this trend is beyond doubt, as well as the depth of its influence on yesterday's unshakable «rules of the game», including in terms of organising transportation along the ITC.

2. The impact of the COVID-19 pandemic on the global economic system in general and the transport and logistics industry in particular.

The seemingly «insignificant» outrage turned into a «perfect storm» that radically changed not only the structure of goods transportation flows and the cost of transportation along the ITC, but also led to long-term and sustainable changes in the global transport system, including reorientation of cargo flows to alternative modes of transport and directions of transportation.

3. The development of information and communication technologies, digital services has laid the foundation for a fundamentally new way of organising, managing and controlling the transportation process, ensured creation of innovative channels and communication tools between the customer and the manufacturer, between the client and the carrier, making them «closer» to each other and changing the composition and established roles of absolutely all participants in the transportation process.

The totality of these primary factors and cardinal reasons has become the basis for formation and development of new mechanisms and methods for rational organisation of transportation, including along international transport corridors. The actual manifestation of these changes was:

1. Significant changes in the general system and in the rules of organisation of international

economic relations against the background of the maximum growth of their «polarisation».

The ongoing changes in the rules and conditions for organising international transportation, often accompanied by a direct actual ban or restrictions on certain types of international traffic (such as a ban on Russian road transport companies to carry out transportation in the European Union) or a ban on the use of infrastructure (a similar ban on the entry of Russian ships to European ports).

2. Increasing changes in the structure and directions of commodity and transport flows, as well as in the conditions of transportation, including along international transport corridors, a significant trend towards the use of land modes of transportation and the transfer to land routes of more and more significant volumes previously transported by sea.

3. Mandatory use of digital tools to organise and ensure implementation of the transportation process, including construction of digital network platform solutions and formation of business ecosystems involving all the participants in the supply chain: commodity producers, transport and logistics companies, infrastructure operators and end users.

It should be noted that due to the high dynamism of these processes, scientific developments in the field of theory and methodology for creating digital transport and logistics systems that support organisation and rational management of cargo transportation along international transport corridors do not keep pace with applied solutions implemented in practice. The small number of scientific publications on this issue are mainly of an applied nature.

At the same time, the conceptual foundations of such changes in the mechanisms and methods of organising transportation along international transport corridors, fundamental scientific research are necessary to determine the future shape of not only the global transport industry, but of the entire global economic system. In this regard, to elaborate scientifically based approaches to development of international transport corridors under modern conditions, as well as to integration of the Russian Federation into the updated system of transport corridors, there is the need for an in-depth analysis of key causes and main consequences of ongoing global transformations of the world transport and logistics system, including of the problems of formation of digital platforms to ensure rational transformation of international transport corridors.

The research conducted by the authors of this article comprised the study of organisational,

technological and legal issues of multimodal transportation along international transport corridors (ITC). Its purpose was to develop conceptual, organisational and technological solutions that ensure construction, operation and development of digital platforms for managing transportation along ITC, and corresponding to the real needs of the transport and logistics system, the current legal norms, the modern and future developments of digital technologies in transport industry.

## RESULTS

One of the most striking manifestations of ongoing changes in the global transport and logistics system is associated with formation of digital business ecosystems, including within the framework of transportation processes along international transport corridors, and, in general, in supply chains going from a commodity producer to the final consumer of goods. Moreover, there is an accelerated development of the processes of creating such business ecosystems in different states and regional associations, as well as their integration with related ecosystems, including in the areas of e-commerce, finance, manufacturing, and others.

The most frequently used and, perhaps, the most capacious definition [1] interprets a business ecosystem as «a set of own or partner services united around one company (structure)».

Other researchers interpret [2] the business ecosystem as dynamic and constantly evolving communities that create new value through cooperation and competition.

Within the framework of the domestic regulatory field, the following definition of a business ecosystem<sup>1</sup> has been accepted: this is a set of complementary services that, through joint integration, form additional value for consumers using them.

Regardless of the definition used, the key feature of this economic phenomenon (business ecosystem) is that during formation and development of business ecosystems, there is a transition from a model of direct competition to a model of coexistence and mutual development of market participants. These processes, among

<sup>1</sup> The concept of general regulation of the activities of groups of companies that develop various digital services based on one ecosystem. May 2021. [Electronic resource]: [https://www.economy.gov.ru/material/file/cb29a7d08290120645a871be41599850/koncepciya\\_21052021.pdf](https://www.economy.gov.ru/material/file/cb29a7d08290120645a871be41599850/koncepciya_21052021.pdf). Last accessed 10.09.2022.



other things, are accompanied by a transition from a linear form of organisation of interaction to the formation of network structures characterised by multiple links between business structures (participants in economic relations).

Currently, one can witness an accelerated formation of business ecosystems, including in the segment of international transportation, characterised by participation in these ecosystems of all the participants in the transportation process, including transport, forwarding companies, manufacturing companies, cargo owners and transportation customers. At the same time, under the conditions of modern turbulence in world economic relations, ecosystem participants dynamically complement each other, providing alternative links and supply channels in a changing business environment.

According to the researchers of the DCG, a global consulting company [3], modern business ecosystems have significant common features, including:

1. The modular principle of the structure, when, unlike traditional hierarchical structures, client services or products are developed independently by their various manufacturers, but function as a single coherent whole.

2. Customisation, significant adaptation of products and services to the end user.

3. Networked, multilateral relationships between ecosystem participants, replacing the traditional bilateral interaction.

4. Ecosystem participants are coordinated not by an «administrative centre», but through the implementation of common rules, standards, and processes.

Revealed features of emerging business ecosystems in the field of transport and logistics, including in the field of functioning of international transport corridors, in terms of the use of modern means and methods for digitalising the interaction of participants in the transportation process include:

1. Widespread use of information management systems at various hierarchic levels of management of the transportation process along international transport corridors, as well as of management of the entire transport business.

2. Transition from paper workflow to the exchange of legally significant data, information and documents in electronic form, recognised by various parties to the transportation process from the legal aspect.

3. Creation and use of an information environment of trust that provides information exchange and interaction in electronic form between participants in the transportation process in the course of organising and managing cargo and passenger flows, as well as between clients and customers within the transportation process.

4. Development and adoption of technical requirements for information management systems and their components, as well as agreed protocols for information exchange, acting as open standards, as well as their continuous development and improvement.

### **World Projects of Digitalisation of International Transport Corridors**

The described trends and vectors of development of global transport and logistics have been practically embodied through digitalisation projects of international transport corridors being implemented in the world. The most striking examples of projects for formation of international business ecosystems in the field of transport and logistics comprise:

1. The project to create the National Public Information Platform for Transport and Logistics of the PRC (LOGINK<sup>2</sup>).

2. The project of building a regional NEAL-NET<sup>3</sup> platform to ensure interaction between the national logistics systems of China, Japan and South Korea.

3. The project of the European Union to build the Federated Network of Information eXchange in Logistics (FENIX)<sup>4</sup>.

4. The project referring to formation of an ecosystem of digital transport corridors of the Eurasian Economic Union<sup>5</sup>.

This list can formally be complemented with the projects announced in the Russian Federation for creating a digital logistics loop, as well as of a digital platform for the transport complex, which

<sup>2</sup> National Transport and Logistics Information Platform in China (LOGINK). [Electronic resource]: <https://www.logink.cn/>. Last accessed 10.09.2022.

<sup>3</sup> Cooperative Mechanism on Northeast Asia Logistics Information Service Network (NEAL-NET). [Electronic resource]: <https://english.neal-net.net/>. Last accessed 10.09.2022.

<sup>4</sup> FENIX Network. A European Federated Network of Information eXchange in LogistiX. [Electronic resource]: <https://fenix-network.eu/>. Last accessed 10.09.2022.

<sup>5</sup> Order of the Eurasian Intergovernmental Council dated January 31, 2020, No. 4 «On formation of an ecosystem of digital transport corridors of the Eurasian Economic Union». [Electronic resource]: <https://www.alt.ru/tamdoc/20mr0004/>. Last accessed 10.09.2022.

are included in the «Strategy for digital transformation of the transport industry of the Russian Federation»<sup>6</sup> and in the Detailed Schedule for implementation of this Strategy.

The key aspects of implementation of these projects are considered in detail by Russian and international researchers [4–11], including the authors of the article. At the same time, it is worth noting that formation of digital platforms within the business ecosystems in the field of transport and logistics significantly depends on the regulatory framework in force in a particular state or regional association, as well as on the accepted rules and norms for doing business, which, being often unofficial, make any of the projects listed above essentially unique, excluding simple copying of technological developments and organisational principles created during its implementation.

A significant impact on the conceptual foundations of formation of business ecosystems, including the definition of goals, objectives, principles of organisation, as well as the composition and functionality of the created platform solutions, is exerted by the existing legal norms and organisational mechanisms in various countries. At the same time, a correct, scientifically based definition of conceptual provisions and solutions for formation of digital platforms of international transport corridors is a necessary condition for construction and viability (implemented demand) of a transport and logistics business ecosystem that ensures construction, rational organisation, and development of international transportation.

The results of our research, the analysis of official materials on international projects for the formation of business ecosystems in the field of transport and logistics, as well as scientific publications on these issues [12–19] show that currently the following conceptual models for building digital transport and logistics systems are used in world practices:

1. The LOGINK system (PRC) is implemented with a clearly built vertical of interaction «city–province–centre» with a focus on creating a mechanism for centralised state regulation of digital transformation processes. The consequence of this conceptual approach is the vertically oriented construction of the LOGINK system in the PRC, based on centralised planning and implementation (top-down model). At the same time, as is typical

for these models, the requirements for the structure and formats of information exchange, methods and methods for processing and using data within the system are determined and established at the top level. Besides, within the framework of the LOGINK system in the PRC, centralised data exchange is provided from lower levels of the system to higher levels and vice versa, as well as the information exchange is built according to the «centralised star» type.

2. The European project FENIX largely translates the political structure of the European Union and is based on building horizontal relationships between ecosystem participants within the framework of a «federated» model. In this design, the emphasis is on peer-to-peer interactions of «each with each». This model reflects the structure of the European Union, the formal equality of all its member states within the common market and political union. At the same time, due to the lack of a functional central component, information exchange is carried out directly between the ecosystem participants within the FENIX project, without the participation of the central segment.

Obviously, the conceptual, organisational and technological solutions used in these projects for formation of digital transportation management platforms cannot be fully used to form an ecosystem of digital transport corridors of the entire Eurasian Economic Union, either of the Russian Federation, as of a member state of the Union, in particular.

It should be noted that both the legal status and the economic structure of the EAEU differ significantly not only from the PRC as from a unitary state, but also from the EU as a political and economic union with a significant degree of economic centralisation and a common market for goods and services, with a single currency. Obviously, in the legal, organisational and economic realities of the Eurasian Economic Union, as well as considering established business practices, simply copying these models for organising transport and logistics digitalisation projects will not work and will not give the expected results.

Besides, the practical implementation of the concept model of digital platforms of international transport corridors in the EAEU space invariably faces acute issues of ensuring digital sovereignty, as well as the problem of respect, both in the architecture of digital platforms and in the implemented schemes for information exchange and interaction, of organisational and legal

<sup>6</sup> Passport of the Strategy for digital transformation of the transport industry of the Russian Federation. [Electronic resource]: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/11374?type=>. Last accessed 10.09.2022.



structures enshrined in the rules of law of the Eurasian Economic Union.

It is also worth noting that according to paragraph 2 of Art. 1 of the Treaty on the Eurasian Economic Union<sup>7</sup>, the Union is an international organisation of regional economic integration with international legal personality. Within the framework of the Union, the paragraph 1 of Art. 1 of this Treaty provides for the freedom of movement of goods, services, capital and workforce, the conduct of a coordinated, coordinated or unified policy in the sectors of the economy, including in the field of transport. In other words, formation of a common market and creation of a single economic management (administration) system within the EAEU remains a matter of a fairly distant future. The same refers also to formation of a single full-featured digital platform for coordination and management of transportation within the EAEU space.

In this regard, and considering also the transition of the project for formation of an ecosystem of digital transport corridors of the EAEU, implemented by the Eurasian Economic Commission as part of the digital agenda of the EAEU<sup>8</sup>, to the stage of direct implementation, the issue of developing scientifically based conceptual provisions and proposals for choosing design solutions for formation of digital platforms of international transport corridors, including within the EAEU space, is quite acute. At the same time, these approaches can also be used for construction of digital transport and logistics platforms in the Russian Federation, as in a member state of the EAEU.

### **Key Architectural Solutions for Formation of an Ecosystem of Digital Transport Corridors of the EAEU**

Based on the results of the research work on the topic «Development of the concept of the ecosystem of digital transport corridors of the Eurasian Economic Union», carried out in 2018–2019 with participation of the authors of this article for official use by the Eurasian

Economic Commission, the following definition was formulated: «Ecosystem of digital transport corridors of the EAEU Member States (the EAEU DTC ecosystem) is a self-developing set of participants, information systems and digital platforms used in the transport and logistics sector of the Union, which is characterised by sustainable information interaction and data exchange between its main objects and subjects at the national and supranational levels, and which is purposefully formed within the regulatory and information space of the EAEU».

At the same time, the main goals of forming the EAEU DTC ecosystem are to create conditions for:

1. Increasing the attractiveness of the international transport corridors of the EAEU, accelerating integration into the global transport system.
2. Increasing the capacity of international transport corridors passing through the territory of the EAEU member states, including by reducing unproductive downtime.
3. Improving the efficiency of the transport infrastructure of the EAEU member states.
4. Improving the efficiency of the activities of control and supervisory bodies.

Based on the results of the designated research work, proposals were developed on the key provisions for formation of an ecosystem of digital transport corridors of the EAEU, as well as on the key provisions for building platform solutions at the supranational and national levels.

However, considering the above significant factors affecting the current vectors of development of the global transport and logistics system in general and development of international transport corridors in particular, as well as taking into account development and deepening of Eurasian integration and ongoing digitalisation processes, introduction of digital platforms in various sectors of the economy, at the present stage of formation of the ecosystem of digital transport corridors of the EAEU, development of conceptual approaches needs significant clarifications regarding previously formulated conceptual provisions.

Considering the above mentioned studies, as well as taking into account the approaches formulated earlier by the authors of this article regarding building digital tools for managing the Russian Federation–China international transport corridors [20], the authors have proposed a set of refined key principles for formation of digital

<sup>7</sup> Treaty on the Eurasian Economic Union (as amended on October 1, 2019) (version effective from April 5, 2022). [Electronic resource]: <https://docs.cntd.ru/document/420205962>. Last accessed 10.09.2022.

<sup>8</sup> Decision of the Supreme Eurasian Economic Council of October 11, 2017 No. 12 «On the Main Directions for Implementation of the Digital Agenda of the Eurasian Economic Union until 2025». [Electronic resource]: <https://docs.cntd.ru/document/555625953>. Last accessed 10.09.2022.

platforms to ensure development of international transport corridors, including within the ecosystem of digital transport corridors of the EAEU, which should include the following core principles:

1. Openness. It is necessary to provide the possibility of information exchange based on open software protocols (Application Programming Interface, API) with related external digital platforms, including at the supranational, national state and national corporate level.

2. Standardisation of information exchange. Development, harmonisation at the international level and consolidation at the level of regulatory and technical acts (technical regulations and standards) of key protocols for information exchange, including between state and corporate digital platforms of international transport corridors, referring to legally significant data, information, and documents in digital form on the progress of transportation and related transport and logistics processes.

3. Compatibility (interoperability). When building digital platforms for international transport corridors, the principle of compatibility (interoperability) must be observed. It requires solving the problems of regulatory, organisational, semantic (documentary) and technical interoperability, including at the international level.

4. Information integration. It is necessary to provide information integration with state, public and corporate digital platforms and information systems, including international ones, as well as with related functional information systems, including digital trading platforms and hubs, to improve the quality and efficiency of their functioning.

5. Use of the digital environment of trust. The construction and operation of digital platforms of international transport corridors should be carried out using a digital trust environment that ensures the exchange of legally significant data, information, and documents in digital form.

6. Independence from imports. When building digital platforms for international transport corridors, domestic developments should be mainly used, maximum independence from foreign software and hardware should be ensured.

It should be noted that the proposed principles for building digital platforms for international transport corridors, including the digital transport

corridors of the EAEU, are basic, pre-determining the subsequent technical implementation and regulation of digital business ecosystems in the field of transport and logistics, including for the ITC.

Considering the principles formulated above, the top-level software architecture of digital platforms of international transport corridors should be formed according to a hierarchical principle and include, among other things, the following levels of software architecture of digital platforms of the ecosystem of international transport corridors of the EAEU (Pic. 1):

1. Supranational level: providing interaction and information exchange both between ecosystem participants and with external ones, including international digital platforms of international transport corridors, as well as the formation and maintenance of centralised general directories and metadata, monitoring availability and performance of services at the national level.

2. National state level: ensuring, among other things, direct provision of public services in digital form, provision of control and supervision activities in the field of transport using digital tools, as well as the maintenance of local (national) directories.

3. National corporate level: the level of end-users of services and data sources of digital platforms of international transport corridors, which ensures provision of digital services to end-users (cargo owners, transportation customers, including individuals), as well as telematic exchange of digital data by end devices (navigation terminals, sensors, information gathering tools, etc.).

The proposed top-level architecture for building digital platforms for international transport corridors within the EAEU DTC ecosystem at the supranational level, which ensures compliance with the requirements of the EAEU law, provides for the introduction of a showcase of functional national services that performs the following functions:

1. Maintaining common directories and the regulatory framework used in the operation of digital platforms of the ecosystem of digital transport corridors of the EAEU.

2. Publication of supranational and national services, standard software modules and components for their subsequent replication, as well as control of the coordinated functionality of supranational and national services of the ecosystem of digital transport corridors of the EAEU.





Pic. 1. Conceptual model of the digital transport and logistics platform of the international transport corridors of the EAEU [compiled by the authors] [21].

3. Current control of availability and performance of supranational and national services of the ecosystem of digital transport corridors of the EAEU.

4. Formation of statistical data on functioning of the ecosystem of digital transport corridors of the EAEU, as well as analytical support for the transport and logistics industry of the EAEU and its member states.

5. Organisation of information interaction and information exchange between the components of supranational and national services of the ecosystem of digital transport corridors of the EAEU, as well as with information systems of the EAEU, including the Integrated Information System of the Union (IIS).

6. Organisation of information interaction and information exchange with external IT systems in the field of transport and logistics, related ecosystems, and digital platforms of international transport corridors.

The proposed option for building digital platforms for international transport corridors of the EAEU is shown in Pic. 2.

The model of information exchange and the composition of data exchanged between the digital platforms of the international transport corridors of the EAEU at the supranational and national levels is shown in Pic. 3.

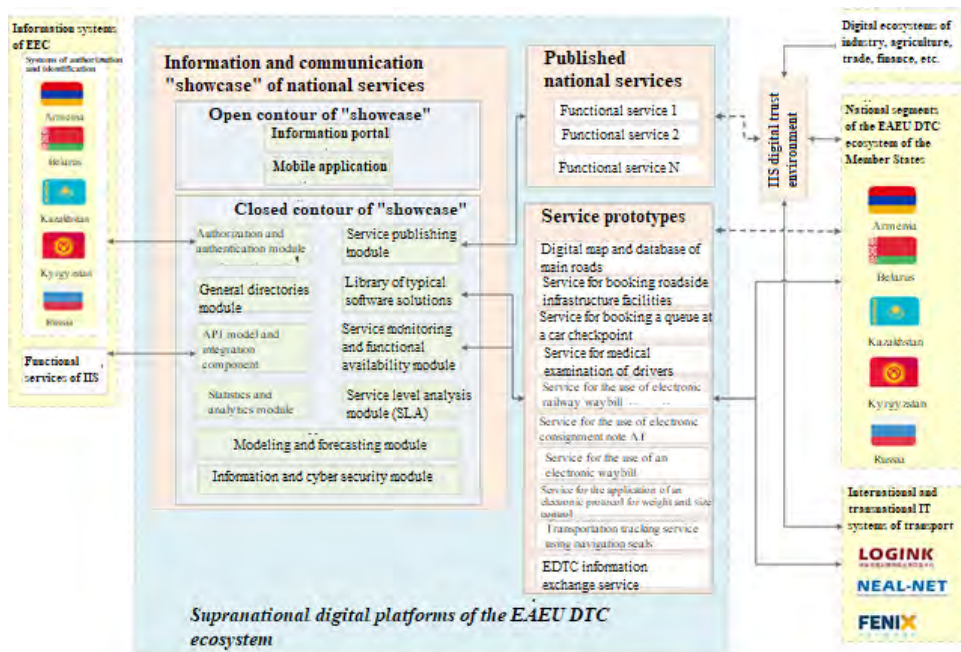
It is to note that the implementation of the shown information exchange should be based on open software protocols (API), which, in turn, should be openly published and available to all participants in the ecosystem.

The top-level architecture of digital platforms of the international transport corridors of the EAEU developed by the authors of this publication in the framework of the scientific study was approved and accepted by the EAEU authorities for implementation. In particular, as part of the implementation of the EAEU Digital Agenda, at the initial stage of formation of the ecosystem of digital transport corridors of the Eurasian Economic Union, it is planned to create an information and communication «showcase» of national services, designed to test and publish national services, monitor their availability and performance, as well as collect statistical information about their operation.

In addition, the planned project for formation of an ecosystem of digital transport corridors of the EAEU provides for creation of several prototypes of national services, including:

1. Digital map and database of main roads and infrastructure facilities of international transport corridors passing through the territories of the member states.

2. Service for booking roadside infrastructure facilities.



**Pic. 2. The proposed architecture of digital platforms for international transport corridors of the EAEU at the supranational level [compiled by the authors] [21].**

3. Service for booking a queue at a vehicle checkpoint of a member state.

4. Service for conducting a medical examination of drivers of vehicles remotely (including the prevention of COVID-19 coronavirus infection).

5. Service for the application of an electronic international consignment note (for railway transport).

6. Service for the application of an electronic international consignment note (for road transport).

7. Service for the use of an electronic waybill.

8. Service for the application of an electronic protocol for weight and size control.

9. Transport tracking service using electronic navigation seals (for agreed modes of transport).

10. Information exchange service of the ecosystem of digital transport corridors of the Union with systems of third countries.

Earlier, during development of the project for formation of an ecosystem of digital transport corridors of the EAEU and creation of digital platforms, estimates were made of the target performance indicators achieved during project implementation. However, considering geopolitical changes, the composition of these indicators needs to be adjusted, and their values need to be reassessed.

According to the authors of this publication, the key systemic effects will be associated with

the use of digital transportation management tools. At the same time, the most important indicators of the effectiveness of creating digital platforms for international transport corridors of the EAEU in modern conditions will be:

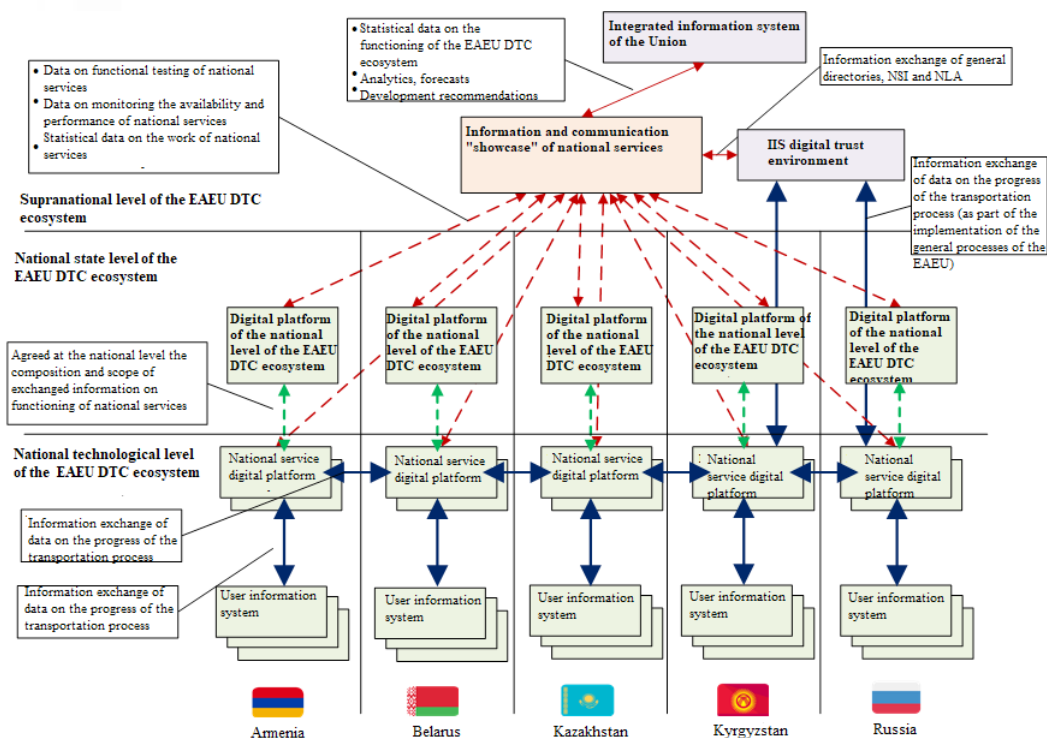
- Creation of legal, technological and organisational conditions to ensure the attractiveness of transportation along international transport corridors passing through the territory of the Russian Federation and the Eurasian Economic Union, including ensuring the best and predictable (stable) terms, costs and quality of transportation while ensuring safety of transportation.

- Ensuring technological independence and digital sovereignty of the Russian Federation in terms of critical digital infrastructure, including information and control systems for organising and controlling transportation along international transport corridors.

- Ensuring the implementation of the transport transit potential of the Russian Federation and the EAEU member states, increasing the income of the transport industry.

- Creation of conditions for accelerating the formation of a single transport market of the EAEU, ensuring the transparency of transportation and a harmonised system for monitoring the transportation process using risk-based approaches in control and supervision activities.





Pic. 3. Model of information exchange between digital platforms of international transport corridors of the EAEU at the supranational and national levels [compiled by the authors] [21].

• Increasing the tax base, the growth of tax payments to the budget from the income of the transport industry.

Determining the values of target indicators requires in-depth research, updating and analysis of a significant amount of statistical data, including in the field of foreign trade.

## CONCLUSION

Given the dynamic global changes in the world economic system, the growth of its polarisation, as well as development of new technological, digital, methods and tools for managing transportation, the issues of accelerating the initiation and practical implementation of projects to create digital platforms for international transport corridors are of significant relevance. At the same time, a deep scientific study is required, combining analysis of the world experience in the implementation of similar projects and of the features of building such systems in accordance with the rules of law and accepted business practice in the Russian Federation and within the EAEU space.

The conceptual approaches to formation of digital platforms of international transport corridors and the solution of problematic issues related to implementation of these projects

proposed by the authors could ensure the achievement of geopolitical and economic results, including the technological independence and digital sovereignty of the Russian Federation, and implementation of its transport transit potential.

At the same time, according to the authors, the most significant risk factors associated with formation of digital platforms of international transport corridors lie in the organisational and legal plane, including numerous bureaucratic procedures for interdepartmental approvals.

## REFERENCES

1. Moore, J. F. The Death of Competition: Leadership and Strategy in the Age of Business Ecosystems. New-York: Harper Paperbacks, 1996, 315 p. ISBN 0-88730-850-3.
2. Kelly, E. Business ecosystems come of age. Part of the Business Trends series. Deloitte University Press, 2015, 120 p. [Electronic resource]: [https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/platform-strategy-new-level-business-trends/DUP\\_1048-Business-ecosystems-come-of-age\\_MASTER\\_FINAL.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/platform-strategy-new-level-business-trends/DUP_1048-Business-ecosystems-come-of-age_MASTER_FINAL.pdf). Last accessed 10.09.2022.
3. Pidun, U., Reeves, M., Schüssler, M. Do You Need a Business Ecosystem? Boston Consulting Group, 27 September 2019. [Electronic resource]: <https://www.bcg.com/publications/2019/do-you-need-business-ecosystem>. Last accessed 10.09.2022.
4. Bubnova, G. V., Boreyko, A. E. Digital transport corridors as a key factor in development of the international transport system: Topical issues in the economy of high-speed transport [Tsifrovie transportnie koridory kak klyuchevoe]

faktr razvitiya mezhdunarodnoi transportnoi sistemy: Aktualnie voprosy ekonomiki transporta vysokikh skorostei]. Collection of scientific articles of the national scientific and practical conference. Ed. by N. A. Zhuravleva, 2020, pp. 24–31. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44612347>. Last accessed 27.07.2022.

5. Bubnova, G. V., Kurenkov, P. V., Nekrasov, A. G. Digital logistics and supply chain safety [Tsifrovaya logistika i bezopasnost tsepei postavok]. Logistika, 2017, Iss. 7 (28), pp. 46–50. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29751354>. Last accessed 27.07.2022.

6. Bubnova, G. V., Lyovin, B. A. Digital logistics as an innovative mechanism for the development and effective functioning of the transport and logistics systems and complexes. International Journal of Open Information Technologies, 2017, Vol. 5, Iss. 3, pp. 72–78. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28426696>. Last accessed 27.07.2022.

7. Kupriyanovskiy, V. P., Klimov, A. A., Sokolov, I. A., Pokusaev, O. N. EU digital transport corridors – 5G, platooning, ITS and Maas. International Journal of Open Information Technologies, 2019, Vol. 7, Iss. 8, pp. 70–86. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39256163>. Last accessed 27.07.2022.

8. Zubko, I. A. Digital transport corridors [Tsifrovie transportnie koridory]. EE «Belarusian State Economic University», Minsk, Belarus. [Electronic resource]: <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/87085/256-259.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Last accessed 27.07.2022.

9. Zubko, I. A. Digital transport corridors: concept and approaches to construction [Tsifrovie transportnie koridory: ponyatie i podkhody k postroeniyu]. [Electronic resource]: [https://www.смарт-скиллс.рф/load/global\\_sceince\\_2019/zubko\\_i\\_a\\_cifrovye\\_transportnye\\_koridory\\_ponyatie\\_i\\_podkhody\\_k\\_postroeniyu/5-1-0-127](https://www.смарт-скиллс.рф/load/global_sceince_2019/zubko_i_a_cifrovye_transportnye_koridory_ponyatie_i_podkhody_k_postroeniyu/5-1-0-127). Last accessed 27.07.2022.

10. Boreyko, A. E., Bubnova, G. V. Methodological approaches to the formation of the strategy of development instruments for management of international transport corridors. Ekonomika zheleznykh dorog, 2020, Iss. 5, pp. 43–50. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42895893>. Last accessed 27.07.2022.

11. Bubnova, G. V., Boreyko, A. E. Digital transport corridors as a key factor in development of the international transport system [Tsifrovie transportnie koridory kak klyuchевой factor razvitiya mezhdunarodnoi transportnoi sistemy]. Topical issues of the economy of high-speed transport. Collection of scientific articles of the national scientific and practical conference. Ed. by N. A. Zhuravleva, 2020, pp. 24–31. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44612347>. Last accessed 27.07.2022.

12. Vorona, A. A. The concept of creating an ecosystem of digital transport corridors of the Eurasian Economic Union [Kontseptsiya sozdaniya ekosistemy tsifrovyykh transportnykh koridorov Evraziyskogo ekonomicheskogo soyuza]. Issues of economics and management, 2019, Iss. 4 (20), pp. 17–20. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38540810>. Last accessed 10.09.2022.

13. Miasnikova, O. V., Tabolich, T. G. Development of Approaches to an Organizational and Functional Structure Creating of the Eurasian Economic Union Digital Transport Corridors Ecosystem. Digital Transformation, 2020, Iss. 1, pp. 23–35. DOI: 10.38086/2522-9613-2020-1-23-35.

14. Ksenofontova, E. M. Formation of the ecosystem of digital transport corridors of the EAEU. Collection of article resulting from 15<sup>th</sup> International scientific-practical conference. Ed. by E. A. Gorbashko, I. V. Fedoseev. St. Petersburg, 2020, pp. 968–974. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44237644>. Last accessed 10.09.2022.

15. Melnikova, T. E., Melnikov, S. E., Makurina, V. M., Kahramanova, S. Problems of creating a regulatory framework in the digitalisation process of road transportation. Transport: science, technics, management. Scientific information collection, 2021, Iss. 9, pp. 49–52. DOI: 10.36535/0236-1914-2021-09-9.

16. Chepernaty, A. V., Petrov-Rudakovskiy, A. P. Ecosystem of digital transport corridors of the Eurasian Economic Union [Ekosistema tsifrovyykh transportnykh koridorov evraziyskogo ekonomicheskogo soyuza]. In: Automotive: design, construction, calculation and repair and production technologies. Proceedings of V All-Russian scientific and practical conference, Izhevsk, 2021, pp. 468–470. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47070096>. Last accessed 10.09.2022.

17. Kuzmin, L. A. Existing and promising tools for digitalization of the transport and logistics infrastructure of the Eurasian Economic Union [Sushchestvuyushchie i perspektivnye instrument tsifrovizatsii transportno-logisticheskoi infrastruktury evraziyskogo ekonomicheskogo soyuza]. Ekonomika i predprinimatelstvo, 2021, Iss. 8 (133), pp. 100–104. DOI: 10.34925/EIP.2021.133.8.013.

18. Konoplyova, V. S. Information technologies in logistics of the EAEU. In: Topical aspects of development of customs affairs and regulation of foreign trade activity of Russia in the conditions of international integration: Economic safety and risks of globalization. 2<sup>nd</sup>-3<sup>rd</sup> All-Russian scientific-practical Internet conferences. Kaliningrad, 2021, pp. 71–75. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47280400&pf=1>. Last accessed 10.09.2022.

19. Zakharov, A. N., Filatkina, E. M. Trade and economic cooperation between the EAEU and APEC in the context of introducing artificial intelligence technologies and creating an ecosystem of digital transport corridors [Torgovo-ekonomicheskoe sotrudnichestvo EAES i ATES v kontekste vnedreniya tekhnologii iskusstvennogo intellekta i sozdaniya ekosistemy tsifrovyykh transportnykh koridorov]. In: Managing the Development of Large-Scale Systems (MLSD'2021). Proceedings of the Fourteenth International Conference. Under the general editorship of S. N. Vasilyev, A. D. Tsvirkun. Moscow, 2021, pp. 999–1000. [Electronic resource]: <https://mlsd2021.ipu.ru/proceedings/999-1003.pdf>. Last accessed 10.09.2022.

20. Boreyko, A. E., Bubnova, G. V. Methodological approaches to the management of international transport corridors. Ekonomika zheleznykh dorog, 2020, Iss. 5, pp. 43–50. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42895893>. Last accessed 27.07.2022.

21. Bubnova, G. V., Boreyko, A. E. Conceptual provisions and solutions for formation of digital platforms of international transport corridors. International Scientific Conference «The Economics of Digital Transformation and Sustainable Development of Transport», 01.06.2022. [Electronic resource]: <https://conferences.science/conferences/edits-2022.html>. Last accessed 10.09.2022.

#### Information about the authors:

**Bubnova, Galina V.**, D.Sc. (Economics), Professor at the Institute of Economics and Finance of Russian University of Transport, Moscow, Russia, [Bubisek@mail.ru](mailto:Bubisek@mail.ru).

**Boreyko, Alexander E.**, General director of LLC Intelligent transport technologies, Moscow, Russia, [Alexborei@inteltech.center](mailto:Alexborei@inteltech.center).

Article received 10.09.2022, approved 19.09.2022, accepted 20.09.2022.





# Study of the Influence of Factors on Passenger Service Quality and Efficiency of Rolling Stock Use



Olga Yu. MATANTSEVA



Anna K. AREDOVA



Irina V. SHCHEGOLEVA

*Olga Yu. Matantseva<sup>1</sup>, Anna K. Aredova<sup>2</sup>, Irina V. Shchegoleva<sup>3</sup>*

*<sup>1, 2, 3</sup> JSC Scientific Research Institute of Automobile Transport (OJSC NIAT), Moscow, Russia.*

*✉ <sup>1</sup> [omat@niat.ru](mailto:omat@niat.ru).*

## ABSTRACT

The tasks of transport planning are relevant for most countries and comprise implementation of solutions at regional and local level. The development of transport planning documents in the constituent entities of the Russian Federation is an acute problem and implies the achievement of such goals as improving the quality of passenger transportation and reducing transportation costs. Each of the transport planning documents includes a list of measures, the implementation of which improves the quality of passenger service and the efficiency of the use of rolling stock.

The objective of the article is to determine the significance of the influence of technical and operational factors on the resulting indicators of passenger service quality and efficiency of rolling stock use. The research applied experiment planning method described in the work of Yu. P. Adler.

The experiment planning method used makes it possible to obtain quantitative estimates of the influence of factors with the same reliability as with other methods. The evaluation was carried out for independent or conditionally independent factors. In the researched case, such factors comprise the number of buses on the route, the length of the route, the turnaround time, the downtime at the terminal points, the allowable deviation from the schedule, the work hours of the drivers, the zero mileage of all buses.

Constants in the calculations are independent factors related to the characteristics of the demand for transportation, since when carrying out measures to improve the organisation of the work of buses on routes, they cannot be influenced. These factors comprise the walking distance on the route, the average travel distance of a passenger on the route and the passenger flow on the most loaded haul.

The method is implemented in the article on the example of an operating bus on the route. For all basic factors, the upper, lower, and main levels are set. Based on the analysis of the actual values of technical and operational indicators on the existing routes of Moscow region, the numerical values of the above levels were determined. Next, the variation intervals for each factor were selected. An experiment in which all possible

combinations of factor levels are implemented is known as a full factorial experiment. The coefficients calculated from the results of the experiment indicate the strength of the influence of a factor. The value of the coefficient corresponds to the contribution of this factor to the value of the optimisation parameter when the factor moves from the zero level to the upper or lower one.

As a result of the research, it was found that five basic factors influence the time spent by a passenger, travel comfort, and the completeness of revenue collection, and ten factors affect the daily costs of servicing the route for a carrier. The specificity of the problem is that for all four optimisation parameters, one and the same matrix can be constructed. To conduct a full factorial experiment with varying ten factors at two levels, it is necessary to carry out more than a thousand calculation options. However, in accordance with the methodology, in this case, we can limit ourselves to the minimum number of calculations. On this basis, an experiment planning matrix was built, then, based on the results of calculations, the coefficients in the regression equations for each of the optimisation parameters can be determined. The regression coefficients obtained when calculating the experiment design matrix are similar to those that could be obtained as a result of calculations using the least squares method. Based on this, it is possible to calculate all the statistical characteristics of the basic factors necessary to determine the closeness of the relationship between the factors and optimisation parameters, as well as between the factors themselves.

The experiment planning method used in the study made it possible to identify the factors influencing each of the four optimisation parameters. Therefore, the explicit dependence of the optimisation parameters on such a factor as the number of buses on the route was confirmed, but at the same time, the factors were ranked according to the degree of their influence on the result. The correspondence of the obtained results to real and obvious dependencies has allowed to conclude that the chosen method and its implementation are correct.

**Keywords:** urban passenger transport, passenger service quality, experiment planning.

*For citation:* Matantseva, O. Yu., Aredova, A. K., Shchegoleva, I. V. Study of the Influence of Factors on Passenger Service Quality and Efficiency of Rolling Stock Use. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 4 (101), pp. 240–246. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-8>.

**The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.**

**Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.**

## INTRODUCTION

Currently, the problem of developing transport planning documents in the constituent entities of the Russian Federation is quite relevant [1; 2]. The documents include models of organising transport services for the population, schemes for organising traffic and programs for development of transport infrastructure [3–5]. In addition, entities must develop a planning document for scheduled passenger transportation<sup>1</sup>.

The main goals laid down in formation of the listed documents are [6; 7]:

- Improving the quality of passenger transportation.
- Reduction of transportation costs at a given level of transport service quality.

Each of the documents related to transport planning includes a list of measures for organisation and technology of passenger transportation.

The quality of passenger service and the efficiency of the use of rolling stock depends on certain options for the selected organisational and technological measures. This choice itself depends on numerous factors, and many of these factors simultaneously affect both the quality of service and the efficiency of the use of rolling stock. Some of the indicators cannot be quantified or their value does not depend on the carrier. For example, the cost paid by a passenger for a trip or safety of the driver [8–13].

As a method for determining the significance of the influence of factors on the resulting indicators, the experiment planning method described in the work of Yu. P. Adler [14] was used. This method makes it possible not only to reduce the number of calculation options, but also to obtain quantitative estimates of the influence of factors with the same reliability as with other methods.

## RESULTS

### Choice of Factors and Objective Functions

To carry out the analysis using the experiment planning method, all input factors were divided into dependent and independent ones, then, from the

total number of input factors, factors that are not interdependent selected, or those that can be considered conditionally independent.

To assess the quality and efficiency of bus transportation, the following factors were analysed:

1. The number of buses on the route –  $X_1$ .
2. The length of the route –  $X_2$ .
3. Turnover time –  $X_3$ .
4. Downtime at the terminal points –  $X_4$ .
5. Permissible deviation from the schedule, set in accordance with regulatory documents –  $X_5$ .
6. The total time of work of drivers with a discontinuous schedule –  $X_6$ .
7. The total work time of drivers on the route per 24 hours –  $X_7$ .
8. Downtime hours –  $X_8$ .
9. Work hours on public holidays –  $X_9$ .
10. Night hours of work of all drivers on the route per day –  $X_{10}$ .
11. Zero mileage of all buses on the route per day –  $X_{11}$ .

Experiment planning is «a procedure for choosing the number and conditions for conducting experiments that are necessary and sufficient to solve the problem with the required accuracy» [4].

In this case, the values of four objective functions (optimisation parameters) were calculated: passenger's time consumption, the comfort of the trip, the completeness of the collection of revenue and the costs incurred by the passenger motor transport organisation (PATP). At the first stage of calculations, according to the experiment planning methodology, a linear dependence of each criterion indicator of efficiency and quality on the basic factors is assumed, i.e., an economic-statistical model is built in the form:

$$Y = a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_n X_n. \quad (1)$$

To obtain the numerical values of the parameters of this model, it is necessary to build an experiment planning matrix to obtain the value of each of four optimisation parameters (passenger time ( $Y_T$ ), travel comfort ( $Y_N$ ), revenue collection completeness ( $Y_C$ ) and the expenses of PATP as for the route per day ( $Y_E$ ). The values of the basic factors are changed.

Factors are divided into quantitative and qualitative ones. Qualitative factors do not correspond to a numerical scale as for quantitative factors, however, it is possible to construct a conditional ordinal scale [4].

To carry out calculations using the experiment planning method, it is necessary to select from the total number of input factors those that are not dependent on each other, or those that can be considered conditionally independent in the calculations.

<sup>1</sup> Methodological recommendations for development of the Planning Document for regular transportation of passengers and luggage along municipal and intermunicipal routes by road transport and urban surface electric transport (approved by the Ministry of Transport of Russia on June 30, 2020). Decree of the Government of the Russian Federation of December 25, 2015, No. 1440 «On approval of requirements for programs for integrated development of the transport infrastructure of settlements, urban districts». Guidelines for development of transport planning documents for the constituent entities of the Russian Federation, approved by the Minutes of the meeting of the working group of the project committee for the national project «Safe and high-quality roads» dated August 12, 2019, No. IA-63.



Dependence of traffic regularity on downtime at the terminal point [15]

| Indicator name                  | Designation | Indicator value |      |      |      |      |      |
|---------------------------------|-------------|-----------------|------|------|------|------|------|
| Idle time at the terminal point | $T_{term}$  | 0               | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    |
| Regularity                      | $R$         | 0,6             | 0,71 | 0,79 | 0,85 | 0,87 | 0,88 |

In this case, such factors are  $X_1, X_2, X_3^2, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_{10}, X_{11}$ .

Independent factors related to the characteristics of demand for transportation, such as  $(X_{22})$  hwd (walking distance on the route),  $(X_{20})$   $l_{av}$  (average travel distance of a passenger on the route),  $(X_{21})$   $Q_m$  (passenger traffic on the most loaded haul) in the calculations are accepted as permanent, because when carrying out measures to improve the organisation of the work of buses on routes, an employee of the operational service cannot influence their value.

The remaining input factors are calculated using the following formulas:

1) Time on duty of all buses on the route  $T_d$  ( $X_{12}$ ):

$$T_d = A \cdot T_o \quad (2)$$

where  $A$  – the number of buses on the route;

$T_o$  – average duration of operation of one bus on the route.

2) The actual number of trips on the route  $f_a$  ( $X_{13}$ ):

$$f_a = T_d / T_{turn} \cdot 60, \quad (3)$$

where  $T_{turn}$  – turnaround time.

3) The planned number of trips on the route  $X_{21}$  is taken equal to  $X_{13}$  in calculations, i.e., it is assumed that all scheduled trips are being operated.

4) The number of trips during the period under study  $f_{study}$  ( $X_{15}$ ):

$$f_{study} = \frac{T_{study} \times A \times 60}{T_{turn}} \quad (4)$$

where  $T_{study}$  – the period under study, in calculations it is equal to 1 hour.

In [15, Table 9] between the idle time at one terminal point  $T_{term}$  and the regularity of movement  $R$ , the following relationship is given (see Table 1).

Since, as is known from [15], the regularity is equal to the number of trips performed with allowable deviations,  $f_{allow}$  divided by the planned number of trips  $f_{pl}$ , the value  $f_{allow}$  ( $X_{19}$ ) in the calculations will be determined as follows:

$$f_{allow} = R \cdot f_{pl}, \quad (5)$$

where  $R$  corresponds to the value  $T_{term}$  ( $X_4$ ), divided by two, since the input factor  $T_{turn}$  ( $X_3$ ) takes into account the average idle time at both terminal

points. Based on [3], the relationship between regularity  $R$  and allowable deviation from the schedule  $\Delta$  can be taken as follows:

$$R_2 = \Delta_2 \cdot 0,09 \quad (6)$$

or

$$f_{allow} = f_{pl} \cdot 0,3\Delta. \quad (7)$$

Thus, the value of the input factor  $f_{allow}$  is determined step by step. First, depending on the selected value  $X_4$  (idle time at terminal points), then it is adjusted depending on the accepted allowable deviation from the schedule (in calculations  $X_5 \leq 3$  min).

5) Time of work of drivers on the route per day  $T_{lin}$  ( $X_7$ ):

$$T_{lin} = T_d + 0,3N_D, \quad (8)$$

where  $N_D$  – the number of drivers working on the route per day;

0,3 – preparatory and final time for each driver.

#### Selection of Initial Information for Calculations

The calculation was carried out for LIAZ-5292.60 bus, in accordance with which the values of the maximum capacity  $M_{max}$  ( $X_{16}$ ) (the number of seats  $M_s$  ( $X_{17}$ ) and the free floor area in the bus cabin  $S_{free}$  ( $X_{18}$ ) are set.

In accordance with the requirements of the theory of experiment planning, they take the maximum and minimum values. For all basic factors, upper, lower and main (zero) levels are set.

The numerical values of these levels for each factor were determined based on the analysis of the actual values of technical and operational indicators on 71 routes of Moscow region. Factor  $X_1$  (number of buses) has an upper level, which corresponds to the maximum number of buses on the route from among the considered ones (suburban and urban), i.e., six, and the lower level corresponds to one. The upper and lower levels of  $X_3$  factor (turnaround time) are determined for each specific value of  $X_2$  factor (route length), taking into account the fulfilment of the condition: the operating speed on the route takes a maximum value of 25,7 km/h and a minimum value is of 12 km/h. As a result (see Table 2), the upper level  $X_2 = 29$  corresponds to the upper level  $X_3 = 290$  and to the lower level  $X_3 = 135$ , the lower level  $X_2 = 2,4$  corresponds to the upper level  $X_3 = 24$  and to the lower level  $X_3 = 11,2$ .

Next, the variation intervals are selected (its own for each basic factor), equal to the half-sum of

<sup>2</sup> Since the turnaround time depends on the length of the route, the operating speed is initially substituted into the matrix, and then, based on its value, the turnaround time is calculated.

Table 2

Table of levels of basic factors [compiled by the authors]

| Levels             | Factors         |               |                     |                |                |                 |                 |                 |                    |                  |
|--------------------|-----------------|---------------|---------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|------------------|
|                    | $X_1$<br>(pcs.) | $X_2$<br>(km) | $X_3$<br>(min)      | $X_4$<br>(min) | $X_5$<br>(min) | $X_6$<br>(hour) | $X_8$<br>(hour) | $X_9$<br>(hour) | $X_{10}$<br>(hour) | $X_{11}$<br>(km) |
| Basic              | 3,5             | 15,7          | <u>73,1</u><br>157  | 6              | 2              | 42              | 6               | 6               | 3,84               | 122,5            |
| Variation interval | 2,5             | 13,3          | <u>61,9</u><br>133  | 4              | 1              | 30              | 4               | 4               | 2,74               | 137,5            |
| Upper level        | 6               | 29            | <u>135</u><br>290   | 10             | 3              | 72              | 10              | 10              | 6,58               | 330              |
| Lower level        | 1               | 2,4           | <u>11,2</u><br>24,0 | 2              | 1              | 12              | 2               | 2               | 1,097              | 55               |

Table 3

Numerical values of derived input factors [compiled by the authors]

| $N_2$ | $X_{12}$ | $X_7$ | $X_{14}$ | $X_{13}$ | $X_{15}$ | $X_{19}$ |
|-------|----------|-------|----------|----------|----------|----------|
| 1     | 2        | 3     | 4        | 5        | 6        | 7        |
| 1     | 12,0     | 12,3  | 64,3     | 64,3     | 5,36     | 45,55    |
| 2     | 12,0     | 12,3  | 2,48     | 2,48     | 0,207    | 3,78     |
| 3     | 12,0     | 12,3  | 30       | 30       | 2,5      | 21,3     |
| 4     | 12,0     | 12,3  | 5,33     | 5,33     | 0,44     | 3,78     |
| 5     | 12,0     | 12,3  | 37,5     | 37,5     | 3,125    | 29,7     |
| 6     | 12,0     | 12,3  | 5,03     | 5,03     | 0,4196   | 1,33     |
| 7     | 12,0     | 12,3  | 22,5     | 22,5     | 1,87     | 5,94     |
| 8     | 12,0     | 12,3  | 5,03     | 5,03     | 0,4196   | 3,32     |
| 9     | 72,0     | 73,8  | 386      | 386      | 32,16    | 274,06   |
| 10    | 72,0     | 73,8  | 180      | 189      | 15       | 127,8    |
| 11    | 72,0     | 73,8  | 32       | 32       | 2,67     | 22,72    |
| 12    | 72,0     | 73,8  | 225      | 225      | 18,75    | 339,68   |
| 13    | 72,0     | 73,8  | 34,5     | 34,5     | 1,21     | 11,48    |
| 14    | 72,0     | 72,8  | 135      | 135      | 11,25    | 35,64    |
| 15    | 72,0     | 73,8  | 30,2     | 30,2     | 2,52     | 7,98     |
| 16    | 72,0     | 73,8  | 14,89    | 14,89    | 1,241    | 10,57    |

the upper and lower levels of the factor. These levels and intervals of variation are presented in Table 2.

Characteristics of the demand for transportation on the route remain constant, the characteristics for the «network» are equal to zero, and the remaining input factors are calculated in accordance with functional dependencies. The results of calculations of the values of dependent (derivative) input factors are given in Table 3.

A complete factorial experiment, as it is well known, is an experiment in which all possible combinations of factor levels are implemented. If the number of levels of each factor is equal to two, then we have a complete factorial experiment of type  $2^k$ , where 2 is the number of levels, k is the number of factors (see Table 4).

The conditions of the experiment are presented in the form of a table (a planning matrix), where the rows correspond to different experiments, and the columns correspond to the values of the factors.

The coefficients calculated from the results of the experiment indicate the strength of the influence of the factor. The value of the coefficient corresponds

to the contribution of this factor to the value of the optimisation parameter when the factor moves from the zero level to the upper or lower.

**Research Results Based on the Experiment Planning Method**

As a result of the research, it was found that five basic factors affect  $Y_p$ ,  $Y_N$ ,  $Y_C$  and ten basic factors affect  $Y_E$ . The specificity of the problem is that for all four optimisation parameters, one and the same matrix can be constructed. To conduct a full factorial experiment with varying ten factors at two levels, it is necessary to carry out  $2^{10} = 1024$  calculation options. However, in accordance with [14, Table 7.2] in this case, we can restrict ourselves to using 1/64-replicas from  $2^{10}$  and carry out only  $2^{10-6} = 2^4 = 16$  calculation options, i.e., 64 times less. When constructing an experiment planning matrix, there is no need to evaluate the effects of the interaction of factors, since the values of the optimisation parameters  $Y_p$ ,  $Y_N$ ,  $Y_C$ ,  $Y_E$  for each row of the matrix were determined by the dependencies between the factors and parameters. To carry out



Table 4

Experiment planning matrix 2<sup>3</sup> [compiled by the authors]

| Experiment number | $x_1$ | $x$ | $y$   | Experiment number | $x_1$ | $x_1$ | $y$   |
|-------------------|-------|-----|-------|-------------------|-------|-------|-------|
| 1                 | -1    | -1  | $y_1$ | 3                 | -1    | +1    | $y_3$ |
| 2                 | +1    | -1  | $y_2$ | 4                 | +1    | +1    | $y_4$ |

Table 5

Experiment planning matrix [compiled by the authors]

| $N_0$ | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ | $X_4$ | $X_5$ | $X_6$ | $X_8$ | $X_9$ | $X_{10}$ | $X_{17}$ | $Y_T$  | $Y_N$ | $Y_C$ | $Y_E$  |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|--------|-------|-------|--------|
| 1     | –     | –     | –     | –     | +     | +     | +     | +     | +        | –        | 23,26  | 0*    | 0,905 | 71,47  |
| 2     | –     | +     | –     | –     | –     | –     | –     | +     | +        | +        | 101,06 | 7,39  | 0,88  | 53,15  |
| 3     | –     | –     | +     | –     | –     | +     | +     | –     | +        | +        | 12,28  | 0     | 0,92  | 101,63 |
| 4     | –     | +     | +     | –     | +     | –     | –     | –     | +        | –        | 99,54  | 2,27  | 0,811 | 103,88 |
| 5     | –     | –     | –     | +     | +     | –     | –     | –     | –        | +        | 27,26  | 0     | 0,898 | 59,73  |
| 6     | –     | +     | –     | +     | –     | +     | –     | –     | –        | –        | 103,54 | 2,49  | 0,806 | 84,85  |
| 7     | –     | –     | +     | +     | –     | –     | +     | +     | –        | –        | 16,18  | 0     | 0,91  | 73,57  |
| 8     | –     | +     | +     | +     | +     | +     | –     | +     | –        | +        | 203,56 | 7,49  | 0,606 | 104,85 |
| 9     | +     | –     | –     | –     | +     | +     | –     | +     | –        | –        | 13,32  | 0     | 0,904 | 388,85 |
| 10    | +     | –     | +     | –     | –     | +     | –     | –     | –        | +        | 8,77   | 0     | 0,9   | 521,1  |
| 11    | +     | +     | +     | –     | +     | –     | +     | –     | –        | –        | 43,29  | 2,23  | 0,813 | 560,32 |
| 12    | +     | –     | –     | +     | +     | –     | –     | –     | +        | +        | 13,97  | 0     | 0,898 | 271,87 |
| 13    | +     | +     | –     | +     | –     | +     | +     | –     | +        | –        | 86,85  | 7,64  | 0,677 | 399,16 |
| 14    | +     | –     | +     | +     | –     | –     | –     | +     | +        | –        | 8,86   | 0     | 0,901 | 403,76 |
| 15    | +     | +     | +     | +     | +     | +     | +     | +     | +        | +        | 43,97  | 2,49  | 0,81  | 497,33 |
| 16    | +     | +     | –     | –     | –     | –     | +     | +     | –        | +        | 81,51  | 7,396 | 0,68  | 304,7  |

\* Occupancy ( $Y_N$ ) equal to 0 means that all passengers in the bus are seated and none is standing.

calculations in accordance with the established dependencies of indicators and factors, values were set for all factors related to the input. These values are taken as follows based on the considered statistical data: at  $X_8 = 2,4$  km  $X_{20} = 1.8$  km; at  $X_2 = 29$  km  $X_{20} = 8,9$  km;  $X_{17} = 25$  seats;  $X_{21} = 22$  people with  $X_1 = 1$  bus; at  $X_1 = 6$  bus  $X_{21} = 132$  people;  $X_{16} = 110$  seats;  $X_{22} = 0,1$  km at  $X_2 = 2,4$  km and  $X_{22} = 0,3875$  km at  $X_2 = 29$  km;  $T_o = 12$  hours;  $N_D = 1$  person in each bus. Table 5 shows the experiment planning matrix with the values of the optimisation parameters calculated from the established dependencies for each row of the matrix.

Based on the results of the calculations presented in the experiment planning matrix, the coefficients in the regression equations for each of the optimisation parameters from formula (2) can be determined. However, for this sequence, there is no need to build regression equations since here it is necessary to determine the degree of influence of each of the factors on the optimisation parameters.

As shown in [14, Chapter 10], the regression coefficients obtained by calculations using the experiment planning matrix are identical to those that could be obtained as a result of calculations using the least squares method. Based on this, it is possible to calculate all the statistical characteristics of the basic factors necessary to determine the

closeness of the relationship between the factors and optimisation parameters and between the factors themselves. The calculation results are presented in Table 6.

## CONCLUSION

The experiment planning method used in the study made it possible to identify the factors influencing each of the four optimisation parameters.

An analysis of the pair correlation coefficients shows that the factors  $X_2$  and  $X_3$ , and, consequently, the functionally dependent factors  $X_{13}$  and  $X_{15}$ , have the most significant influence on  $Y_T$ ,  $Y_N$ ,  $Y_C$ . The influence of  $X_{15}$  factor on occupancy ( $Y_N$ ) and completeness of revenue collection ( $Y_C$ ) is considered separately, since these parameters, based on the fact that they are calculated for peak hours, are more significantly affected not by the total number of buses on the route during peak hours, but by the number of trips performed by them ( $X_{15}$ ) during this period.

The factor  $X_1$  also has a significant effect on  $Y_T$ ,  $Y_N$ ,  $Y_C$ , however, the pair correlation coefficient  $r_{xly}$  has a low value, since the optimisation parameter  $Y_T$  includes four components, and the factor  $X_1$  affects only one of the components of passenger time spending ( $Y_T - T_{wait}$  (waiting time)). The optimisation parameter  $Y_3$  is most significantly

Table 6

Results of calculations of statistical parameters [compiled by the authors]

| Statistical characteristic | Optimisation parameters |        |        |        |
|----------------------------|-------------------------|--------|--------|--------|
|                            | $Y_T$                   | $Y_N$  | $Y_C$  | $Y_E$  |
| $\bar{Y}_i$                | 55,45                   | 2,15   | 0,832  | 250,01 |
| $\bar{X}_1$                | 3,5                     | 3,5    | 3,5    | 3,5    |
| $\bar{X}_2$                | 15,7                    | 15,7   | 15,7   | 15,7   |
| $\bar{X}_4$                | 6                       | 6      | 6      | 6      |
| $\bar{X}_3$                | 109,36                  | 109,36 | 109,36 | 109,36 |
| $\bar{X}_5$                | 2                       | 2      | 2      | 2      |
| $\bar{X}_6$                | 21                      | 21     | 21     | 21     |
| $\bar{X}_8$                | 6                       | 6      | 6      | 6      |
| $\bar{X}_9$                | 6                       | 6      | 6      | 6      |
| $\bar{X}_{10}$             | 1,92                    | 1,92   | 1,92   | 1,92   |
| $\bar{X}_{11}$             | 96,25                   | 96,25  | 96,25  | 36,25  |
|                            |                         |        |        |        |
| $\sigma_{x1}$              | 2,5                     | 2,5    | 2,5    | 2,5    |
| $\sigma_{x2}$              | 13,3                    | 13,3   | 13,3   | 13,3   |
| $\sigma_{x3}$              | 4                       | 4      | 4      | 4      |
| $\sigma_{x4}$              | 102,36                  | 102,36 | 102,36 | 102,36 |
| $\sigma_{x5}$              | 1                       | 1      | 1      | 1      |
| $\sigma_{x6}$              | 29,85                   | 29,85  | 29,85  | 29,85  |
| $\sigma_{x8}$              | 4                       | 4      | 4      | 4      |
| $\sigma_{x9}$              | 4                       | 4      | 4      | 4      |
| $\sigma_{x10}$             | 2,73                    | 2,73   | 2,73   | 2,73   |
| $\sigma_{x11}$             | 136,81                  | 136,81 | 136,81 | 136,81 |
| $\sigma_Y$                 | 51,72                   | 52,72  | 0,0849 | 181,83 |
|                            |                         |        |        |        |
| $r_{x1y}$                  | -0,346                  | -      | -      | 0,926  |
| $r_{x2y}$                  | 0,773                   | 0,776  | -0,843 | 0,074  |
| $r_{x3y}$                  | 0,146                   | 0,073  | -0,082 | -0,072 |
| $r_{x4y}$                  | 0,813                   | 0,987  | -0,993 | -0,037 |
| $r_{x5y}$                  | 0,183                   | 0,35   | -0,28  | 0,029  |
| $r_{x6y}$                  |                         |        |        | 0,58   |
| $r_{x8y}$                  |                         |        |        | 0,046  |
| $r_{x9y}$                  |                         |        |        | 0,084  |
| $r_{x10y}$                 |                         |        |        | 0,38   |
| $r_{x15y}$                 |                         | -0,542 | 0,499  |        |
| $r_{x11y}$                 |                         |        |        | 0,534  |
|                            |                         |        |        |        |
| R                          | 0,812                   | 0,636  | 0,579  | 0,989  |

Note:  $\bar{X}_i$ ,  $\bar{Y}$  – arithmetic mean;  
 $\sigma_{xj}$ ,  $\sigma_y$  – standard deviation;  
 $r_{xij}$  – pair correlation coefficient;  
 $R$  – cumulative correlation coefficient.



influenced by the factors  $X_I$  and  $X_{II}$ . Although the obtained results confirmed the well-known dependence of the optimisation parameters on the factor  $X_I$  (number of buses), at the same time they allowed us to rank the factors according to the degree of their influence on the result. At the same time, the correspondence of the obtained results to real and obvious dependencies allows us to conclude that the chosen method and its implementation are correct.

## REFERENCES

1. Matantseva, O. Yu. Economic bases formation of planning document transportation of passengers. In: *National and international financial and economic problems of road transport. Collection of scientific works. Moscow Automobile and Road Construction State Technical University*. Moscow, MADI publ., 2018, pp. 26–32. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36843261&pf=1https://elibrary.ru/item.asp?id=36686707>. Last accessed 24.08.2022.
2. Spirin, I. V., Matantseva, O. Yu., Grishaeva, Yu. M., Savosina, M. I. Planning for sustainable development of regular passenger transportation in Russian cities [Planirovaniye ustoychivogo razvitiya regul'yarnykh perevozok passazhirov gorodakh Rossii]. *Safety of wheeled vehicles in operating conditions: proceedings of 106th International Scientific and Technical Conference, Irkutsk, April 23–26, 2019*. Irkutsk, Irkutsk National Research University, 2019, pp. 629–636. [Electronic resource]: [https://www.niiat.ru/files/publications/2019/planirovanie\\_ustoychivogo\\_razvitiya\\_regul'yarnykh\\_perevozok\\_passazhirov\\_v\\_gorodakh\\_rossii.pdf](https://www.niiat.ru/files/publications/2019/planirovanie_ustoychivogo_razvitiya_regul'yarnykh_perevozok_passazhirov_v_gorodakh_rossii.pdf). Last accessed 24.08.2022.
3. Spirin, I. V. Urban bus transportation: a Handbook [Gorodskie avtobusnye perevozki: Spravochnik]. Moscow, Transport publ., 1991, 237 p. ISBN 5-227-01139-0.
4. Matantseva, O. Yu., Aredova, A. K. Chief economic problems and solutions in passenger transportation by public transport. *Transport Rossiiskoi Federatsii*, 2018, Iss. 2 (75), pp. 65–69. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/perevozki-passazhirov-transportom-obschego-polzovaniya-osnovnye-ekonomicheskie-problemy-i-puti-ih-resheniya>. <https://cyberleninka.ru/article/n/perevozki-passazhirov-transportom-obschego-polzovaniya-osnovnye-ekonomicheskie-problemy-i-puti-ih-resheniya>. Last accessed 24.08.2022.
5. Matantseva, O. Yu. Fundamentals of the economics of road transport: Study guide [Osnovy ekonomiki avtomobilnogo transporta: Ucheb. posobie]. Moscow, Yustitsinform publ., 2020, 256 p. ISBN 978-5-7205-1503-4.
6. Spirin, I. V. Scientific foundations of the complex restructuring of urban passenger transport: Monograph [Nauchnye osnovy kompleksnoi restrukturalizatsii gorodskogo passazhirskogo transporta: Monografiya]. Moscow, Katalog publ., 2007, 200 p. ISBN 978-5-94349-128-3.
7. Ulitskaya, N. M., Skorokhodova, A. V. The main problems of the quality of transport passengers of urban public transport in Russia. In: *National and international financial and economic problems of road transport. Collection of scientific works. Moscow Automobile and Road Construction State Technical University*. Moscow, LLC Ekon-Inform publ., 2018, pp. 11–18. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36846313>. Last accessed 24.08.2022.
8. Grishaeva, Yu. M., Matantseva, O. Yu., Spirin, I. V., Savosina, M. I., Tkacheva, Z. N., Vasin, D. V. Sustainable development of transport in Russian cities: experience and urgent tasks [Ustoychivoe razvitiye transporta v gorodakh Rossii: opyt i aktualnye zadachi]. *South of Russia: ecology, development*, 2018, Vol. 13, Iss. 4, pp. 24–46. DOI: 10.18470/1992-1098-2018-4-24-46.
9. Donchenko, V. V., Ibraev, K. A., Enin, D. V., Evseev, O. V. Methodological approaches to development and application of transport service standards for the population [Metodologicheskie podkhody k razrabotke i primeneniyu standartov transportnogo obsluzhivaniya naseleniya]. *Avtotransportnoye predpriyatie*, 2016, Iss. 6, pp. 22–25. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26165081>. Last accessed 24.08.2022.
10. Enin, D. V., Vende, F. Logistics in transport systems of cities. Prospects for personnel training [Logistika v transportnykh sistemakh gorodov. Perspektivy podgotovki kadrov]. *Bulletin of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)*, 2019, Iss. 1 (56), pp. 113–119. [Electronic resource]: <https://www.madi.ru/3803-vestnik-moskovskogo-avtomobilno-dorozhnogo-gosudarstvennogo.html>. Last accessed 24.08.2022.
11. Alyoubi, B. A. Smart Cities in Shaping the Future of Urban Space: Technical Perspective and Utilitarian Aspects. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 2017, Vol. 9, pp. 1749–1770. Appendix: 1, Special issue: SI. DOI: 10.4314/jfas.v9i1s.816.
12. Grishaeva, Yu. M., Spirin, I. V., Matantseva, O. Yu. Aspects of Professional Education in the Higher School in the Interests of the Techno-Sphere Safety. *Sovremennye issledovaniya sotsialnykh problem*, 2016, Iss. 9, pp. 5–18. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27335695>. Last accessed 24.08.2022. <http://journals.org/index.php/sisp/article/view/9469>
13. May, A. D. Urban Transport and Sustainability: The Key Challenges. *International Journal of Sustainable Transportation*, 2013, Vol. 7, Iss. 3, pp. 170–185. DOI: 10.1080/15568318.2013.710136.
14. Adler, Yu. P., Markova, E. V., Granovskiy, Yu. P. Experiment planning in search of optimal conditions [Planirovaniye eksperimenta pri poiske optimalnykh usloviy]. Moscow, Nauka publ., 1976, 280 p. [Electronic resource]: <https://lib-bkm.ru/10467>. Last accessed 24.08.2022.
15. Blatnov, M. D. Passenger road transportation: Textbook for road transport technical schools [Passazhirskie avtomobilnye perevozki: Uchebnik dlya avtotransp. tekhnikumov]. 3<sup>rd</sup> ed., rev. and enl. Moscow, Transport publ., 1981, 222 p.

### Information about the authors:

**Matantseva, Olga Yu.**, D.Sc. (Economics), Ph.D. (Eng), Associate Professor, Deputy general director of JSC Scientific Research Institute of Automobile Transport (OJSC NIIAT) for scientific work, Professor of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia, [omat@niiat.ru](mailto:omat@niiat.ru).

**Aredova, Anna K.**, Ph.D. (Economics), Researcher at JSC Scientific Research Institute of Automobile Transport (OJSC NIIAT), Moscow, Russia, [aredova@niiat.ru](mailto:aredova@niiat.ru).

**Shchegoleva, Irina V.**, Junior Researcher at JSC Scientific Research Institute of Automobile Transport (OJSC NIIAT), Moscow, Russia, [ishchegoleva@niiat.ru](mailto:ishchegoleva@niiat.ru).

Article received 24.08.2022, approved 12.09.2022, accepted 14.09.2022.



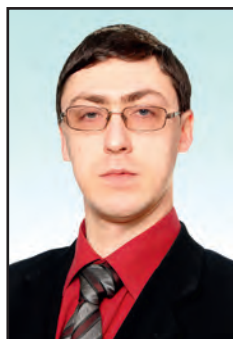
# Improving Transport Services in Bryansk



Vladimir V. SIVAKOV



Viktor V. KAMYNIN



Petr V. TIKHOMIROV

*Vladimir V. Sivakov<sup>1</sup>, Viktor V. Kamynin<sup>2</sup>, Petr V. Tikhomirov<sup>3</sup>*

*<sup>1, 2, 3</sup> Bryansk State Engineering and Technology University, Bryansk, Russia.*

*✉ <sup>1</sup> sv@bgtu.ru.*

## ABSTRACT

The object of the study of the article is the passenger transport network of the city of Bryansk. The task of improving transport services for the population is solved in the context of modernising vehicle fleet, transport infrastructure and in-depth implementation of digital technologies. The analytical method allowed to assess the state of the transport system of the city of Bryansk. The assessment touched upon several interrelated areas that provide a high quality of transport services. The data were obtained by studying open Internet resources, including the website of the administration of the city of Bryansk, and through field observations.

Work on updating the fleet of route vehicles is carried out within the framework of the «Concept for development of public transport in the city of Bryansk for the period 2015–2025», which over the past four years has led to a significant renewal of the bus fleet of medium and large capacity and to the decrease in the share of buses of small capacity. The road network has also been significantly upgraded.

The routes of urban passenger transport have been analysed from the point of view of the degree of duplication. Guidelines for improving the routes of the transport network are proposed.

**Keywords:** transport, urban passenger transport, transport network, duplication of routes, passenger transportation.

*For citation:* Sivakov, V. V., Kamynin, V. V., Tikhomirov, P. V. Improving Transport Services in Bryansk. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 4 (101), pp. 247–252. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-9>.

**The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.**  
**Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.**

## INTRODUCTION

Many large cities experience a situation when several routes duplicate each other. This leads to excessive congestion of streets, additional emissions of exhaust gases, a decrease in profitability of routes, a lack of transport for organising passenger transportation throughout the city [1; 2].

This problem is of particular relevance in the case of a large length of urban routes and a large passenger flow. This fully applies to the city of Bryansk, which includes four districts remote from each other. The districts are connected by main roads of 4–6 lanes, the main routes pass through them, connecting Bezhitsky, Fokinsky and Volodarsky districts mainly through the central Sovetsky district of the city.

## MATERIALS AND METHODS

The *subject* of this study is to assess duplication (combination) of individual routes of the urban passenger transport network of the city of Bryansk, in which passenger transportation is carried out both by municipal transport, including large-capacity buses operating on 47 routes and trolleybuses operating on 13 routes, and by commercial transport, consisting of shuttle vehicles of small capacity, operating on 40 routes [3; 4].

The improvement of urban passenger transportation is based on the «Concept for development of public transport in the city of Bryansk for the period 2015–2025»<sup>1</sup>, within which a number of measures have already been completed: the bus fleet of municipal auto enterprises has been replaced by almost 100 %, new roads have been planned and put into operation, a number of roundabouts have been built [3], studies of individual passenger flows have been partially conducted [5]. Several measures have been introduced that have made it possible to digitalise passenger transportation (installation of GPS/GLONASS receivers that display the position of vehicles on an electronic map, in mobile applications; the introduction of digital cashless payment, etc.)<sup>2</sup>[6]. Currently, the

issue of replacing a completely worn-out fleet of trolleybuses is being worked out (including by filing an application under the federal program) [7]. It is planned to purchase one hundred new trolleybuses (the first batch has already been purchased and is expected to be delivered), public transport routes are being adjusted. When choosing trolleybuses, options for acquiring a part of trolleybuses with a power storage allowing autonomous operation are considered. The relevance of correcting public transport routes is confirmed by the works of both domestic authors [8–10] and foreign ones [11–13].

## THEORY AND PREREQUISITES

Improving the routes of urban passenger transport by most authors [14–16; 18] is proposed through finding the most duplicate routes and their consecutive exclusion or adjustment.

The author [17] proposed a new method for determining the route duplication indicator using the route adjacency indicator, which takes into account directions and volumes of passenger origin-destination trips, which, according to his calculations, allows solving transport planning problems more correctly. However, this method requires a significant amount of research, and, consequently, time and financial costs. For initial assessment of routes, it is advisable to use the former method, applying which routes are divided into three groups according to the degree of route overlap (duplication), classified according to the length of the coincidence of the route in question:

- The first group is characterised by a low degree of coincidence (from 30 to 50 % of the length of the route) with the possibility of synchronising the schedule of matching routes or combining them into a single, longer one.

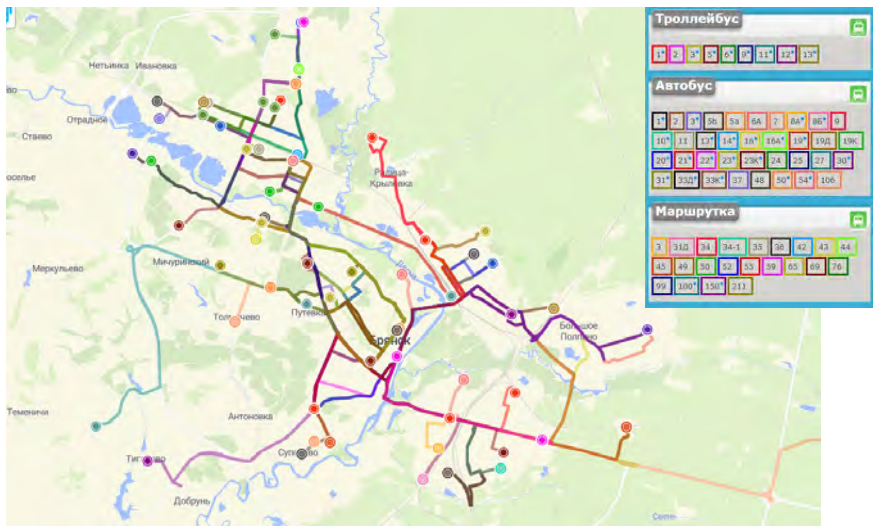
- For the second group, the degree of coincidence is average (from 50 to 75 % of the length of the route), one of the routes needs to be cancelled or the schedule needs to be adjusted.

- The third group is characterised by a high degree of coincidence (over 75 % of the length of the route), which is inappropriate, therefore, a detailed spatial analysis of such routes is required.

The primary task of spatial analysis is to study roads with a large number of duplicate routes, i.e., belonging to second and third groups.

<sup>1</sup> Resolution of the BCA dated March 23, 2015 No. 772-p «On approval of the «Concept for development of public transport in the city of Bryansk for the period 2015–2025». [Electronic resource]: [http://bga32.ru/uploads/2016/06/bga32-ru-Post-772\\_23-03-2015.pdf](http://bga32.ru/uploads/2016/06/bga32-ru-Post-772_23-03-2015.pdf). Last accessed 10.12.2021.

<sup>2</sup> Official website Public transport of the city of Bryansk. [Electronic resource]: <http://www.transport32.ru/>. Last accessed 10.12.2021.



**Pic. 1.** Map of the network of the municipal passenger transport of the city of Bryansk. [Compiled based on the data of the website: Routes of public transport of Bryansk]. [Electronic resource]: <https://www.eway24.ru/ru/cities/bryansk>. Last accessed 02.12.2021.

**Table 1**

**Routes of the city of Bryansk with a high overlapping**

| The second group of routes (from 50 to 75 %) |                    | The third group of routes (over 75 %) |                     |
|----------------------------------------------|--------------------|---------------------------------------|---------------------|
| M-10 – M-28 (50 %)                           | M-10 – M-36 (50 %) | M-3 – M-31 (90 %)                     | M-10 – M-35 (100 %) |
| M-10 – M-42 (50 %)                           | M-44 – M-42 (57 %) | M-28 – M-49 (84 %)                    | A-8 – M-99 (83 %)   |
| M-10 – M-43 (50 %)                           | M-44 – M-49 (52 %) | M-44 – M-36 (75 %)                    | A-11 – M-99 (81 %)  |
| M-28 – M-88 (60 %)                           | M-44 – M-52 (57 %) | M-47 – M-34 (78 %)                    | A-23 – M-99 (80 %)  |
| M-28 – M-99 (60 %)                           | M-45 – M-43 (50 %) | M-47 – M-38 (77 %)                    | A-3 – A-54 (96 %)   |
| M-34 – M-35 (50 %)                           | M-47 – M-35 (56 %) | M-49 – M-99 (78 %)                    | A-54 – A-3 (97 %)   |
| M-34 – M-47 (70 %)                           | M-47 – M-43 (70 %) | M-49 – M-52 (82 %)                    | M-55 – A-9 (92 %)   |
| M-34 – M-49 (50 %)                           | M-47 – M-99 (54 %) | M-50 – M-34 (75 %)                    | M-38 – A-11 (85 %)  |
| M-35 – M-10 (52 %)                           | M-49 – M-28 (62 %) | A-37 – M-28 (77 %)                    | M-10 – A-25 (75 %)  |
| M-35 – M-34 (70 %)                           | M-49 – M-38 (63 %) | A-3 – M-36 (91 %)                     | M-35 – A-10 (78 %)  |
| M-35 – M-38 (50 %)                           | M-49 – M-88 (59 %) | A-54 – M-36 (80 %)                    | M-69 – A-27 (91 %)  |
| M-35 – M-47 (70 %)                           | M-50 – M-47 (52 %) | A-11 – M-38 (85 %)                    | M-3 – A-31 (90 %)   |
| M-35 – M-49 (50 %)                           | M-50 – M-52 (60 %) | A-48 – M-43 (75 %)                    | M-34 – A-31 (86 %)  |
| M-35 – M-52 (60 %)                           | M-50 – M-59 (74 %) | A-1 – M-52 (99 %)                     | M-47 – A-31 (97 %)  |
| M-35 – M-99 (70 %)                           | M-52 – M-38 (52 %) | A-11 – M-52 (95 %)                    | M-43 – A-48 (82 %)  |
| M-36 – M-42 (67 %)                           | M-52 – M-99 (73 %) | A-9 – M-55 (91 %)                     | M-65 – M-59 (77 %)  |
| M-36 – M-44 (64 %)                           | M-55 – M-59 (58 %) | A-8 – M-59 (86 %)                     | T-1 – T-6 (80 %)    |
| M-38 – M-42 (74 %)                           | M-55 – M-65 (62 %) | A-10 – M-76 (93 %)                    | T-6 – A-11 (93 %)   |
| M-38 – M-47 (73 %)                           | M-59 – M-65 (54 %) | T-2 – M-43 (96 %)                     | T-2 – M-45 (96 %)   |
| M-38 – M-49 (74 %)                           | M-65 – M-55 (70 %) | T-9 – M-50 (81 %)                     | T-9 – T-11 (89 %)   |
| M-42 – M-36 (65 %)                           | M-69 – M-34 (53 %) |                                       |                     |
| M-42 – M-38 (69 %)                           | M-69 – M-45 (58 %) |                                       |                     |
| M-43 – M-47 (74 %)                           | M-69 – M-47 (58 %) |                                       |                     |
| M-99 – M-52 (70 %)                           | M-88 – M-49 (59 %) |                                       |                     |
|                                              | T-9 – A-50 (68 %)  |                                       |                     |

Remark: M – jitney, A – bus, T – trolleybus.

### RESULTS AND DISCUSSION

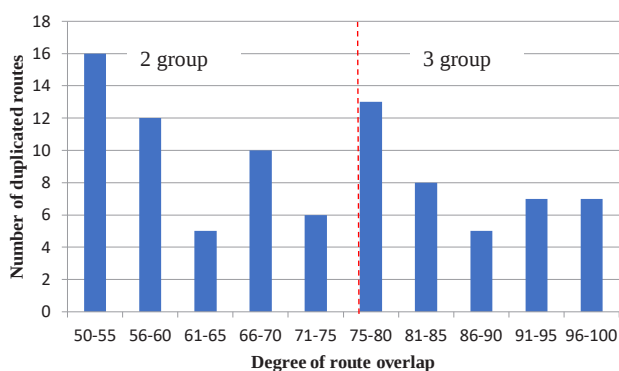
According to this methodology and data [18], the routes were distributed according to the degree of duplication. Their visualisation is shown in Pic. 1. Routes with a high degree of overlap (second and third groups) are presented in Table 1.

Considering routes with a high degree of overlap, it should be noted that most commonly duplication refers to routes of jitneys (48 out of 49 in the second group and 10 out of 40 in the third

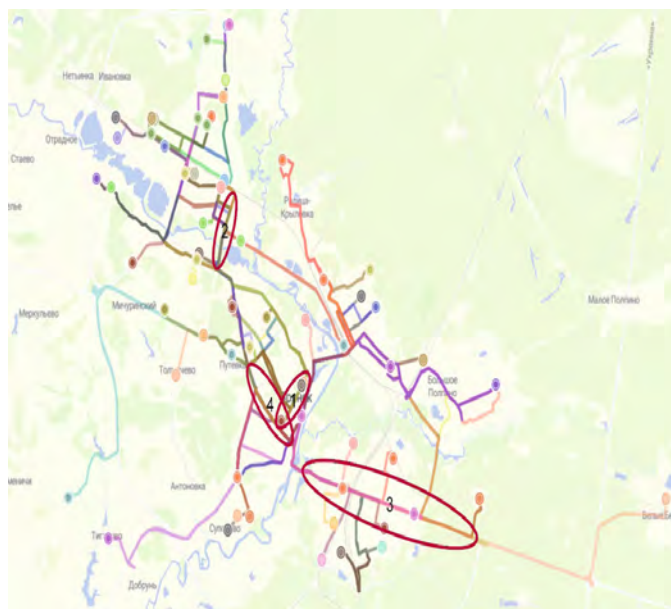
group). Municipal transport, represented by buses and trolleybuses, is duplicate by jitneys (27 out of 40 in the third group), while there are six trolleybus routes duplicated by buses and two trolleybus routes duplicated by trolleybuses. The duplication of trolleybus and bus routes is currently associated with a lack of serviceable trolleybuses; to solve the problem of replacing the trolleybus fleet, it will be necessary to adjust these routes.

The largest number of duplicate routes pass through the main transport arteries of the city





Pic. 2. Distribution of the number of routes by degree of overlap [Compiled by the authors based on the data of the website: Routes of public transport of Bryansk]. [Electronic resource]: <https://www.eway24.ru/ru/cities/bryansk>. Last accessed 03.12.2021.



Pic. 3. Streets with the largest number of duplicate routes [Compiled by the authors based on the data of the website: Routes of public transport of Bryansk]. [Electronic resource]: <https://www.eway24.ru/ru/cities/bryansk>. Last accessed 03.12.2021.

(Pic. 3): prospekt Lenina – 18 routes (1), ulitsa Ulyanova – 19 routes (2), Moskovsky prospekt – 27 routes (3) and ulitsa Krasnoarmeyskaya – 24 routes (4).

The solution to the problem with duplicate routes could be found by organising passenger transportation in the city using a single travel document, for example, as in Moscow, where, according to the data<sup>3</sup> «from September 1, 2021, in buses, trams and electric buses it is possible to make transfers for free, subject to payment by card «Troika» at the tariffs «Wallet» or «Single for 60 trips» within 90 minutes and route changes. When travelling at the «Wallet» tariff,

42 rubles are debited for the first trip, and 0 rubles – for subsequent trips. When travelling at the «Single» tariff, only one trip is written off, no matter how many modes of transport the passenger changes. The use of such a system in the city of Bryansk would make it possible to shorten some routes limiting them by the main transfer points (for example, Bus Station, ploshchad Lenina, Aeropark and some others – their list was established by previous studies [18]), removing duplicate routes and reducing traffic congestion main roads.

To unload existing routes, several new roads have been built, for example, a protective road, Bryansk 1–Bryansk 2 dam (Pic. 4), which connected Fokinsky and Bezhitsky districts, bypassing the centre (Sovetsky district), which

<sup>3</sup> Fare payment in Moscow. [Electronic resource]: [https://www.tutu.ru/2read/articles/moscow\\_fares/](https://www.tutu.ru/2read/articles/moscow_fares/). Last accessed 03.12.2021.



Total length of the 1st stage with the bridge is 5408 m  
Total length of the 2nd stage with the bridge is 594 m



**Pic. 4. Built protective road, Bryansk 1–Bryansk 2 dam** [Compiled by the authors based on the website article: *In Bryansk, the construction of the road from the rail station to the «Metro» store has started*]. [Electronic resource]: <https://news.nashbryansk.ru/2019/11/13/routine/nachalos-stroitelstvo-dorogi-bryansk-1—bryansk>. Last accessed 03.12.2021.



**Pic. 5. Planned road** [Compiled by the authors based on the website article: *The authorities of Bryansk presented a project for a new road from the Telecentre to the Black Bridge. With two new «rings»*]. [Electronic resource]: <https://bryansk.news/2021/11/22/proekt-dorogi-telecentr/>. Last accessed 03.12.2021.

made it possible to get 30–40 % faster between districts. To use it, the townspeople turned to the transport department of the city administration with a request to launch a bus on a new road between Volodarsky and Fokinsky districts, organising a new route or changing existing ones: «Meat processing plant–railway station–Druzhba (or Worsted plant)», «Meat processing plant–railway station–Avtozavodets microdistrict» or «Bordovichi–Snezhetskaya station» (connection of routes 19 and 16A). This direction of the route will unload the longest trips on the 31<sup>st</sup> route<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> In Bryansk it was proposed to develop a bus route for the new road [Electronic resource]: [https://www.bragazeta.ru/news/2021/09/27/v-bryanske-aktivisty-predlozhili-pustit-avtobusnyj-marshrut-po-novoj-doroge/?utm\\_source=yxnews&utm\\_medium=desktop](https://www.bragazeta.ru/news/2021/09/27/v-bryanske-aktivisty-predlozhili-pustit-avtobusnyj-marshrut-po-novoj-doroge/?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop). Last accessed 03.12.2021.

It is also planned to build new roads, for example, a four-lane road from the Telecentre to the bridge in Fokinsky district (Pic. 5), with the beginning at the intersection with the 4<sup>th</sup> Karachizhsky lane, down to the river Desna and along the coast with access to ulitsa Kalinina near the bridge. New roundabouts are provided on both sides, as well as two elevated pedestrian crossings<sup>5</sup>.

## CONCLUSIONS

1. The existing route passenger transportation network of the city is imperfect and, in its

<sup>5</sup> The authorities of Bryansk presented a project for a new road from the Telecentre to the Black Bridge. With two new «rings». [Electronic resource]: <https://bryansk.news/2021/11/22/proekt-dorogi-telecentr/>. Last accessed 03.12.2021.



development, should take into account the prospects for development of the road network, as well as the opinions of initiative groups of city residents.

2. When analysing route overlap, a large number of duplicate routes of groups 2 and 3 were found.

3. Duplication of trolleybus and bus routes is currently associated with a lack of serviceable trolleybuses, and when they are replaced, these routes need to be adjusted.

4. To solve the problem of duplication of jitneys, it is necessary to improve the identified duplicate routes, as well as to introduce new bus and trolleybus routes instead.

5. It is expedient to organise passenger transportation in the city with a single travel document that allows making transfers free of charge for a limited period of time, which would reduce the load on the city's transport network.

## REFERENCES

1. Basso, L., Navarro, M., Silva, H. Public transport and urban structure. *Economics of Transportation*, 2021, Vol. 28, pp. 100232. DOI:10.1016/j.ecotra.2021.100232.
2. Owais, M., Moussa, G. Optimal circular bus routes planning for transit network design problem in urban areas. *Journal of engineering sciences*, 2013, Vol. 41, pp. 1447–1466. DOI: 10.21608/JESAUN.2013.114867.
3. Sivakov, V. V., Kamynin, V. V., Tikhomirov, P. V. Improvement of passenger transportation (by the example of the city of Bryansk). *Transport. Transportnie sooruzheniya. Ekologiya*, 2020, Iss. 4, pp. 61–69. DOI: 10.15593/24111678/2020.04.07.
4. Borovaya, K. S., Sivakov, V. V. Study of the transport infrastructure of the city of Bryansk (the road network). *Ekonomika i effektivnost organizatsii proizvodstva*, 2018, Iss. 28, pp. 57–61. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36476736>. Last accessed 05.08.2022.
5. Sivakov, V. V., Tikhomirov, P. V., Kamynin, V. V., Sinitsyn, S. S. Analysis of the results of a survey of passenger traffic on certain routes of commercial transport in Bryansk. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*, 2020, Iss. 4 (71), pp. 46–53. DOI: 10.33979/2073-7432-2020-71-4-46-53.
6. Sivakov, V. V., Borovaya, K. S. The introduction of information technologies in the organization of passenger route transportation in Bryansk. *Transportnoe delo Rossii*, 2019, Iss. 4, pp. 98–99. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41151692>. Last accessed 05.08.2022.

7. Drakunov, I. I., Derevyagin, R. Yu. Prospects for public transport development in Bryansk. *Ekonomika i effektivnost organizatsii proizvodstva*, 2021, Iss. 34, pp. 19–23. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47212611>. Last accessed 05.08.2022.

8. Kuznetsova, L. P., Semenikhin, B. A., Altuhov, A. Yu. Improving the organization of passenger traffic on the routes of Kursk. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*, 2016, Iss. 2 (53), pp. 98–104. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25845700>. Last accessed 05.08.2022.

9. Gulidova, A. V., Krylatov, A. Yu. Public transport network optimization. *Protsessy upravleniya i ustoychivost*, 2019, Vol. 6, Iss. 1, pp. 414–418. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38095797>. Last accessed 05.08.2022.

10. Eremin, S. V. Integrated transport planning in the context of a promising territorial city development. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*, 2021, Iss. 3 (74), pp. 109–114. DOI: 10.33979/2073-7432-2021-74-3-109-114.

11. Teodorović, D., Janic, M. Public Transportation Systems. In book: *Transportation Engineering*, 2022, pp. 405–522. DOI: 10.1016/B978-0-323-90813-9.00007-2.

12. Kiaer, J. Public transportation. In book: *Study Abroad in Korea*, 1<sup>st</sup> ed. Routledge, 2020, 7 p. eBook ISBN 9780367824020. DOI: 10.4324/9780367824020-8.

13. Ušpalytė-Vitkūnienė R., Ranceva, J. Accessibility of Regional Public Transport. *Transbaltica XII: Transportation Science and Technology*, 2022, pp. 726–737. DOI: 10.1007/978-3-030-94774-3\_70.

14. Özgün, K., Günay, M., Basaran, B. [et al]. Analysis of Public Transportation for Efficiency. In book: *Trends in Data Engineering Methods for Intelligent Systems, Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence and Applied Mathematics in Engineering (ICAIME 2020)*, 2021, pp. 680–695. DOI: 10.1007/978-3-030-79357-9\_63.

15. Shankaran, R. S., Rajendran, L. Intelligent Transport Systems and Traffic Management. In book: *Smart Cities: Concepts, Practices, and Applications*, 1<sup>st</sup> ed., 2022, 48 p. eBook ISBN 9781003287186. DOI: 10.1201/9781003287186-6.

16. Ibraeva, A., de Sousa, J. F. Marketing of public transport and public transport information provision. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 2014, Vol. 162, pp. 121–128. DOI: 10.1016/j.sbspro.2014.12.192.

17. Enin, D. V. Approaches to Determining the Regular Transit Route Duplication Level. *World of Transport and Transportation*, 2021, Vol. 19, Iss. 1 (92), pp. 210–228. DOI: 10.30932/1992-3252-2021-19-1-210-228.

18. Sivakov, V. V., Tikhomirov, P. V., Kamynin, V. V. Study of the route alignment of the passenger network in the Bryansk town. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*, 2021, Iss. 3 (74), pp. 43–49. DOI: 10.33979/2073-7432-2021-74-3-43-49. ●

### Information about the authors:

**Sivakov, Vladimir V.**, Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Transport-Technological Machines and Service of Bryansk State Engineering and Technology University, Bryansk, Russia, [sv@bgtu.ru](mailto:sv@bgtu.ru).

**Kamynin, Viktor V.**, Ph.D. (Eng), Associate Professor, Head of the Department of General Technical Disciplines and Physics of Bryansk State Engineering and Technology University, Bryansk, Russia, [kaf-mim@bgtu.ru](mailto:kaf-mim@bgtu.ru).

**Tikhomirov, Petr V.**, Ph.D. (Eng), Associate Professor, Head of the Department of Transport-Technological Machines and Service, Vice-Rector for Research and Development of Bryansk State Engineering and Technology University, Bryansk, Russia, [vtichomirov@mail.ru](mailto:vtichomirov@mail.ru).

Article received 08.08.2022, approved 19.09.2022, accepted 21.09.2022.



## FUEL OPTIMISATION 254

*Energy evaluation of the influence of the degree of hydration and mixture type on the use of ethanol and gasoline in spark ignition engines.*



## AUTOMATED VEHICLES: LEGAL ASPECTS 259

*Key groups of problems related to legal regulation of the use of automated vehicles. Inherent and technical requirements ensuring safety of operation. Balance of liability between the actors.*





## Energy Effect of the Degree of Hydration of Ethanol and the Air Excess Coefficient ( $\alpha$ ) on the Use of Ethanol-Gasoline Mixtures in Spark Ignition Engines



Yarian REYES SUAREZ



Valentin N. BALABIN

Yarian Reyes Suarez<sup>1</sup>,  
Valentin N. Balabin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Agrarian University of Havana, Mayabeque, Cuba.

<sup>2</sup> Russian University of Transport, Moscow, Russia.

✉ <sup>1</sup> yarianrs@gmail.com.

✉ <sup>2</sup> vbbn2347@gmail.com.

### ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate energetically the effect of hydration degree and mixture type (rich mixture  $\alpha = 0,85$  and lean mixture  $\alpha = 0,15$ ) on the use of ethanol and gasoline mixtures in spark ignition engines. The experiments were carried out in the Propulsion Laboratory of the Faculty of Engineering Sciences of Agrarian University of Havana (AUH). The JACTO model engine used has an effective power of 1,2 kW, speed 580 rpm, combustion chamber volume 34 cm<sup>3</sup>. Before combustion, the degree of ethanol hydration was determined (80 %; 85 %; 90 %; 95 %). Taking into account the influence of the percentage of purity of ethanol and air excess coefficient ( $\alpha$ ), when using combustible mixtures, analyses were carried out on the following parameters: air-fuel ratio ( $r_{a/f}$ ) and fuel-air ratio ( $r_{f/a}$ ); internal energy of combustion products ( $U_p$ ); the number of moles of raw materials in the mixture for gasoline

engines ( $M_1$ ) and the number of moles of products during combustion ( $M_2$ ). Based on the experimental work performed and the energy analysis of the combustion process, it was shown that the mixture of gasoline E-10-EH-80 % received more air and fuel than ratio necessary to achieve combustion, reaching 11,781 kg (air)/kg (fuel) for  $\alpha = 0,85$  and 15,309 kg (air)/kg (fuel) for  $\alpha = 1,15$ . This is due to the fact that this is a mixture with increased moisture, because it contains more oxygen atoms, which impoverishes the mixture, and guarantees the best quality in the combustion process. But rich mixtures ( $\alpha = 0,85$ ) were the most energy efficient, which is associated with an increase in the octane number, that is, the antiknock ability of the fuel mixture used, which improves the quality of combustion, although it reduces the energy output during an explosion (detonation).

**Keywords:** transport, hydrocarbon, fuel, gasoline, mixture, standard energy, engine, air, gas, hydration, combustion, ecology.

**For citation:** Reyes Suarez, Ya., Balabin, V. N. Energy Effect of the Degree of Hydration of Ethanol and the Air Excess Coefficient ( $\alpha$ ) on the Use of Ethanol-Gasoline Mixtures in Spark Ignition Engines. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 4 (101), pp. 254–258. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-10>.

The text of the article originally written in English is published in Russian in the first part of the issue.

Текст статьи, изначально представленной на английском языке, публикуется на русском языке в первой части данного выпуска.

## INTRODUCTION

Scientists and various world organisations have been warning about the threat of the depletion of fossil hydrocarbons for more than four decades. They claim that the «oil peak» is an inevitable reality and predict it for different dates. But the important thing is that no one doubts that this will happen and will have serious consequences for the world economy [1].

The gradual depletion of fossil fuel reserves, the uncertainty of their prices and the degradation of the environment make humanity seriously reflect on the energy problem and look for alternative sources. For this reason, there is now a general tendency to look for and use renewable energy sources [2].

However, renewable energy is not the only source available. New directions of search should be carefully studied. Today, many industrial processes generate large amounts of waste containing the potential for energy use. Through physical or chemical processes, these wastes can be used to produce energy, thus saving not only primary resources, but also minimizing the problems of managing these wastes [3].

Given the threat posed by the depletion of hydrocarbons and climate change, norms and methods have been developed at the global level to reduce dependence on them. Some modern developments indicate a tendency to reduce the consumption of fossil hydrocarbons, gradually moving to the use of alternative fuels, such as biofuels [4].

Switching to mixed fuel makes it possible to improve the traction properties of transport, increase its performance, reduce diesel fuel consumption and reduce the amount of harmful emissions [5–9].

Studies show that gasoline mixtures with 10 % or 15 % of ethanol have better environmental and energy performance, due to the increase in octane, that is, the anti-detonating ability of the fuel mixture, which improves the quality of combustion, although the energy during the explosion (detonation) decreases [10].

Taking into account the above, the work shows the results of thermodynamic studies on the use of gasoline mixtures and 10 %-ethanol mixtures in spark ignition engines.

## RESEARCH METHODOLOGY

### 1. Theoretical Foundations of the Combustion Process

To analyse the theoretical foundations of the combustion process, several works on this topic were considered [11, pp. 8–69; 12, pp. 8–20; 13, pp. 13–42; 14, pp. 43–58; 15], which established:

1. The theoretical amount of air required for fuel oxidation ( $L_0$ ) is determined from the expression:

$$L_0 = \frac{1}{0,21} \left( \frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{O_0}{32} \right). \quad (1)$$

In this case, the average elementary components of the fuel can be taken, for gasoline: carbon –  $C = 0,85$ ; hydrogen –  $H = 0,15$ ; oxygen –  $O_0 = 0$ .

2. Number of moles of raw materials in the mixture for gasoline engines ( $M_1$ ):

$$M_1 = \alpha \cdot L_0 + \frac{1}{\mu_c}, \quad (2)$$

where  $\mu_c$  – molecular weight of the fuel, for gasoline  $\mu_c = 110 \dots 120$  kg/kmol;

$\alpha$  – air excess coefficient.

3. Number of moles of products in combustion ( $M_2$ ):

$$\text{If } \alpha < 1 \quad M_2 = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + 0,79 \cdot \alpha \cdot L_0. \quad (3)$$

$$\text{If } \alpha \geq 1 \quad M_2 = (M_2)_{\alpha=1} \alpha = 1 + j, \quad (4)$$

$$\text{where } (M_2)_{\alpha=1} = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + 0,79 \cdot L_0. \quad (5)$$

4. The necessary amount of air ( $J$ ) is determined from the expression:

$$J = (\alpha - 1) \cdot L_0. \quad (6)$$

5. The theoretical coefficient of molecular variation is determined from:

$$\mu_0 = M_2 / M_1. \quad (7)$$

6. The actual coefficient of molecular variation ( $\beta$ ) is determined from:

$$\beta = \frac{M_2 + M_r}{M_1 + M_r} = \frac{M_2 + M_1 \cdot \sigma_r}{M_1 + (1 + \sigma_r)} = \frac{\mu_0 + \sigma_r}{1 + \sigma_r}. \quad (8)$$

The value  $\beta$  fluctuates: for gasoline engines –  $\beta = 1,02 \dots 1,12$ , diesel engines –  $\beta = 1,01 \dots 1,06$ .

The lower heat of combustion ( $H_u$ ) of the fuel is formed: for gasoline engines –  $H_u = 44000$  KJ/kg; for diesel –  $H_u = 42500$  KJ/kg; and for gasohol (Flex fuel) –  $H_u = 26279$  KJ/kg.

7. The internal energy of the combustion products ( $U_z$ ) is determined from the expression:

$$U_z = \frac{1}{\beta} \left[ \xi \frac{(H_u - \Delta H_u)}{M_1(1 + \sigma_r)} + \frac{[U_c - \sigma_r \cdot U_c^*]}{1 + \sigma_r} \right], \quad (9)$$

where  $\sigma_r$  – the exhaust gas coefficient. For gasoline engines  $\sigma_r = 0,06 \dots 0,12$ ; for diesel engines  $\sigma_r = 0,02 \dots 0,06$ .



Table 1

Air-fuel ratio ( $r_{a/f}$ ) and fuel-air ratio ( $r_{f/a}$ ) [compiled by the authors]

| Mixtures     | $\alpha = 0,85$             |                              | $\alpha = 1,15$             |                              |
|--------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
|              | $r_{a/f}$<br>kg air/kg fuel | $r_{f/a}$<br>kg fuel/ kg air | $r_{a/f}$<br>kg air/kg fuel | $r_{f/a}$<br>kg fuel/ kg air |
| E-10-EH-95 % | 11,303                      | 0,088                        | 15,293                      | 0,063                        |
| E-10-EH-90 % | 11,31                       | 0,088                        | 15,303                      | 0,065                        |
| E-10-EH-85 % | 11,311                      | 0,088                        | 15,304                      | 0,065                        |
| E-10-EH-80 % | 11,781                      | 0,085                        | 15,309                      | 0,065                        |



$\xi$  – heat utilization coefficient. For different engines in rated mode: for gasoline engines  $\xi = 0,85 \dots 0,95$ ; for diesel engines  $\xi = 0,65 \dots 0,85$ .

$U_c$  – the internal energy of gases (it can be taken from air) for the temperature at the end of compression in degrees Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$U_c''$  – the internal energy of the combustion products for the critical temperature of the products ( $t_c$ ).

## 2. Hydration of Ethanol

Steps to consider while obtaining different degrees of ethanol hydration:

- Measurement with an alcohol tester of the degree of hydration of ethanol for the experiment.
- Increase in the degree of hydration of ethanol to the desired values by adding distilled  $\text{H}_2\text{O}$  without impurities.

## RESULTS

### 1. Experimental Research

The experiments were carried out in the Propulsion laboratory of the Faculty of Technical Sciences of Agrarian University of Havana (AUH). A single-cylinder engine of the JACTO model was used. Analysis of the combustion

process based on mixtures of 10 % ethanol and conventional gasoline of category B-85 (E-10). Before combustion, the degree of hydration of ethanol was determined (80 %; 85 %; 90 %; 95 %), and type of mixture (rich mixture  $\alpha = 0,85$  and lean mixture  $\alpha = 0,15$ ). The engine used has an effective power of 1,2 kW; rotation speed of 580 rpm, combustion chamber volume of  $34 \text{ cm}^3$ .

The ethanol used in the experiments, with a % purity (EH) of 97 %, of which 95 %, 90 %, 85 % and 80 % were obtained, with this % purity the various combustion conceived in the study were carried out.

### 2. Thermodynamic Analysis of Experimental Studies of the Combustion Process

Taking into account the materials and methods described above, the influence of % ethanol purity and the air excess coefficient, the following parameters were analyzed in the use of fuel mixtures: air-fuel ratio ( $r_{a/f}$ ) and fuel-air ratio ( $r_{f/a}$ ); internal energy of combustion products ( $U_c$ ); number of moles of raw materials in the mixture for gasoline engines ( $M_1$ ) and number of moles of combustion products ( $M_2$ ).

Table 2

Internal energy of combustion products ( $U_z$ ). Number of moles of raw materials in the mixture for gasoline engines ( $M_1$ ) and number of moles of combustion products ( $M_2$ ) for  $\alpha = 0,85$  and for  $\alpha = 1,15$  [compiled by the authors]

| Mixtures        | $\alpha = 0,85$ |                 |       |         |                 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-------|---------|-----------------|
|                 | $M_1$ , kg/kmol | $M_2$ , kg/kmol | $m_0$ | $\beta$ | $U_z$ , kJ/kmol |
| E-10-EH-95 %    | 28,632          | 26,113          | 0,912 | 0,616   | 27749,510       |
| E-10-EH-90 %    | 28,432          | 25,873          | 0,91  | 0,614   | 28202,971       |
| E-10-EH-85 %    | 28,230          | 25,661          | 0,909 | 0,612   | 28664,544       |
| E-10-EH-80 %    | 28,027          | 25,420          | 0,907 | 0,609   | 29134,443       |
| $\alpha = 1,15$ |                 |                 |       |         |                 |
| E-10-EH-95 %    | 21,474          | 19,606          | 0,913 | 0,633   | 26852,127       |
| E-10-EH-90 %    | 21,242          | 19,288          | 0,908 | 0,631   | 27294,547       |
| E-10-EH-85 %    | 21,009          | 19,013          | 0,905 | 0,629   | 27744,519       |
| E-10-EH-80 %    | 20,773          | 18,779          | 0,904 | 0,627   | 28202,227       |

In the case of the air-fuel ratio ( $r_{a/f}$ ) and the fuel-air ratio ( $r_{f/a}$ ) these coefficients are the ratio of the kilograms of fuel or air that exist in the mixture per kilogram of air or fuel during combustion. Moreover, a large amount of air, with a small amount of fuel becomes the cause of rapid combustion at high temperatures, while on the contrary, with a large amount of fuel, the mixture burns slowly and at low temperatures. An air-fuel ratio of less than 14,7 means a rich mixture, while a ratio of more than 14,7 means an impoverished mixture. This air excess coefficient is determined as  $\alpha = 0,85$  and  $\alpha = 1,15$ , for a mixture of 10 % ethanol with % purity 95 % + gasoline (E-10-EH-95 %), 10 % ethanol % purity 90 % + gasoline (E-10-EH-90 %), 10 % ethanol% purity 85 % + gasoline (E-10-EH-85 %) and 10 % ethanol % purity 80 % + gasoline (E-10-EH-80 %) Table 1.

As we can see in the Table 1, in the above E-10-EH-80 % a greater proportion of the air/ fuel needed in order to achieve combustion is obtained and reaches 11,781 kg (air)/kg (fuel) for  $\alpha = 0,85$  and 15,309 kg (air)/kg (fuel) for  $\alpha = 1,15$  this is due to the fact that the mixture is more hydrated, because it has more number of atoms of oxygen, which impoverishes the mixture and provides a better quality of the combustion process, while for  $\alpha = 0,85$  the fuel/ air ratio is greater, that for  $\alpha = 0,15$  because the air induction decreases.

In turn, from the expression (9), the internal energy of the combustion products was

determined for each of the analyzed mixtures (Table 2).

As we can see in the Table 2, when using a mixture E-10-EH-80 % in rich and lean mixtures, we get more internal energy than in the mixtures remaining, reaching a value of 29 134,443 kJ/kmol for rich mixtures and 28 202,227 kJ/kmol for lean mixtures, resulting in a maximum difference; for rich mixtures of 1 384,934 kJ/kmol in connection with the mixture of E-10-EH-95 % and for lean mixtures 1 350,1 kJ/kmol with respect to the mixture E-10-EH-95 %. The increase in energy may be due to an increase in the hydrogen and oxygen content of the mixture, the components of water added to ethanol.

While the higher internal energies in rich mixtures compared to lean mixtures, this may mainly be due to an increase in octane, that is, the anti-detonating ability of the fuel or the fuel mixture used, which improves the quality of combustion, although it reduces the energy capacity during explosion (detonation).

Summing up, in the combustion analysis, the highest value of the internal energy of the combustion products is achieved using a mixture E-10-EH-80 % for rich mixtures ( $\alpha = 0,85$ ). This behaviour is due to an increase in the octane number, that is, the anti-detonating ability of the fuel used or the fuel mixture, which improves the quality of combustion, although the energy during the explosion (detonation) decreases. It should be noted that this does not mean that as the hydration of ethanol increases, the internal energy increases.



## CONCLUSION

1. For a mixture E-10-EH-80 %, we get more air/fuel ratio needed to achieve the combustion, which reaches 11,781 kg (air)/kg (fuel) for  $\alpha = 0,85$  and 15,309 kg (air)/kg (fuel) for  $\alpha = 1,15$ , this is because it is a mixture with more humidification, because it has more oxygen atoms, which impoverishes the mixture and ensures a better quality in the combustion process.

2. In rich mixtures ( $\alpha = 0,85$ ), the fuel/air ratio is higher than in lean mixtures ( $\alpha = 0,15$ ) because the supplied air decreases.

3. The mixture E-10-EH-80 % for rich mixtures ( $\alpha = 0,85$ ) was the most energy efficient, due to the increase in octane, that is, the anti-detonating capacity of the fuel mixture used, which improves the combustion quality although it reduces the power of the explosion (detonation).

## REFERENCES

- Domínguez, F. S. La agroindustria bioenergética de la caña de azúcar: retos y perspectivas. In: La agroindustria cañera cubana: transformaciones recientes. Editor Mario González-Corzo, 2015, pp. 35–59. [Electronic resource]: <https://cubaproject.org/wp-content/uploads/2014/07/SugarEbook.pdf>. Last accessed 31.08.2022.
- Reyes Suárez, Y., Arteaga Barrueta, M., Morejón Mesa, Y., Fuentes Sánchez, A. Valuation of the energy potential of the agroindustrial residuals of tomato for their employment as biofuel. *Revista Ingeniería Agrícola*, 2020, Vol. 10, No. 2. [Electronic resource]: <https://www.redalyc.org/journal/5862/586263256006/>. Last accessed 31.08.2022.
- Baño, A., Darío, A., Quito, P., Gonzalo, H. Obtención de la mezcla combustible diésel con aceites lubricantes reciclados del automóvil en concentraciones de 5 %, 10 %, 15 %, 20 % y 30 % y determinación de los parámetros característicos del motor. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga. *Carrera de Ingeniería Automotriz*, 2016. [Electronic resource]: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/11809>. Last accessed 31.08.2022.
- Aguilar-Rivera, N. Bioetanol de la caña de azúcar. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 2007, Vol. 11, No. 3, pp. 25–39. [Electronic resource]: <https://revistasacademicas.ucoi.mx/index.php/agropecuaria/issue/view/60/22>. Last accessed 31.08.2022.
- Nosyrev, D. Ya., Kurmanova, L. S., Petukhov, S. A., Muratov, A. V., Erzamaev, M. P. Environmental Efficiency of Using Alternative Types of Fuel in Power Facility of Railway Transport. *Ecology and Industry of Russia*, 2019, Vol. 23, Iss. 2, pp. 19–23. DOI: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-2-19-23>.
- Kossov, E. E., Sukhoparov, S. I. Optimization of operation modes of locomotive diesel generators [Optimizatsiya rezhimov raboty teplovoznykh dizel-generatorov]. Proceedings of VNIIZhT. Moscow, Intext publ., 1999, 183 p. ISBN 5-89277-010-9.
- Markov, V. A., Kozlov, S. I. Fuel supply of multi-fuel and gas-diesel engines [Toplivopodacha mnogotoplivnykh i gazodizelnykh dvigatelei]. Moscow, Publishing house of Bauman MSTU, 2000, 296 p. ISBN 5-7038-1565-7.
- Fofanov, G. A. Natural gas – motor fuel for diesel locomotives [Prirodnyy gaz – motornoe toplivo dlya teplovozov]. *Journal «Zheleznye dorogi mira»*, 2006, Iss. 7, pp. 43–48. [Electronic resource]: [https://zdmira.com/images/pdf/\\_dm2006-07\\_43-48.pdf](https://zdmira.com/images/pdf/_dm2006-07_43-48.pdf). Last accessed 31.08.2022.
- Nosyrev, D. Ya., Roslyakov, A. D., Muratov, A. V. Prospects and problems of using alternative fuels in locomotive power plants: Monograph [Perspektivy i problemy primeneniya alternativnykh vidov topliva v lokomotivnykh energeticheskikh ustanovkakh: Monografiya]. Samara, SamGUPS publ., 2009, 117 p. ISBN 978-5-98941-110-8.
- Reyes Suárez, Y., Morejón Mesa, Y., Hernández Herranz, A. Thermodynamic Evaluation of Using Ethanol-Gasoline Blends in Spark Ignition Engine. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 2020, Vol. 29, No. 2. [Electronic resource]: <https://www.redalyc.org/journal/932/93264060003/>. Last accessed 31.08.2022.
- Bogdanov, S. N., Burenkov, M. M., Ivanov, I. E. Automobile engines: «Section I. Fundamentals of technical thermodynamics and heat transfer» [Avtomobilnye dvigateli: «Razdel I. Osnovy tekhnicheskoi termodinamiki i teploperedachi»]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1987, 367 p. [Electronic resource]: <https://djvu.online/file/JxMwJZBbNBIEQ>. Last accessed 31.08.2022.
- Anokhin, V. I., Sakharov, A. G. Tractor driver's manual: Section two «Tractor engines» [Posobie traktorista: Razdel vtoroi «Traktornye dvigateli»]. 2nd ed., rev. Moscow, Kolos publ., 1969, 424 p. [Electronic resource]: <https://fr-lib.ru/books/professii/posobie-tractorista-download182810>. Last accessed 31.08.2022.
- Gurevich, A. M., Sorokin, E. M. Tractors and cars: «Second section. Fundamentals of the theory of tractor and automobile internal combustion engines» [Traktory i avtomobili: «Razdel vtoroi. Osnovy teorii traktornykh i avtomobilnykh dvigatelei vnutrennego sgoraniya»]. 4th ed., rev. End enl. Moscow, Kolos publ., 1978, 480 p. [Electronic resource]: <https://djvu.online/file/IIFM9cZ1fzYDZ>. Last accessed 31.08.2022.
- Halderman, J. D., Mitchell, Ch. D. Automotive Engines: Theory and Servicing: Chapter 2. Principle of operation and types of engines. Transl. from Engl. and ed. by S. A. Dobrodeev. 4th ed. Moscow, Williams publ., 2006, 664 p. ISBN 5-8459-0954-6.
- Kruglov, S. M. Device, maintenance and repair of passenger cars [Ustroistvo, tekhnicheskoe obsluzhivanie i remont legkovykh avtomobilei]. Moscow, Vysshaya shkola publ., 1987, 336 p. [Electronic resource]: <https://fr-lib.ru/books/raznoe/kruglov-s-m—ustroistvo-tekhnicheskoe-obsluzhivanie-i-remont-legkovykh-avtomobilei-download602479>. Last accessed 31.08.2022. ●

### Information about the authors:

**Reyes Suarez, Yarian**, Ph.D. student at Russian University of Transport, Professor of Agrarian University of Havana, Mayabeque, Cuba, [yarianrs@gmail.com](mailto:yarianrs@gmail.com).

**Balabin, Valentin N.**, D.Sc. (Eng), Professor of Russian University of Transport, Moscow, Russia, [vbn2347@gmail.com](mailto:vbn2347@gmail.com).

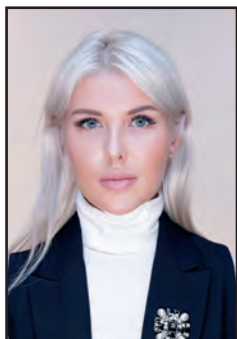
Article received 16.06.2022, approved 27.06.2022, accepted 13.07.2022.



# Problem Issues of Legal Regulation of the Operation of Cars with an Automated Driving System



Alexander I. ZEMLIN



Maria A. MATVEEVA



Eugenia V. GOTS



Anton A. TORSHIN

*Alexander I. Zemlin<sup>1</sup>, Maria A. Matveeva<sup>2</sup>, Eugenia V. Gots<sup>3</sup>, Anton A. Torshin<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> Russian University of Transport, Scientific Expert Council of the Centre for research of security problems of the Russian academy of sciences, Moscow, Russia.

<sup>2, 3, 4</sup> Russian University of Transport, Moscow, Russia.

✉ <sup>1</sup> [zemlin.aldr@yandex.ru](mailto:zemlin.aldr@yandex.ru).

## ABSTRACT

In the context of a fundamental change in the fundamental approaches to building a traffic management system, traditionally based on establishing the driver's duty to ensure constant control over the traffic situation and, accordingly, presuming his responsibility for harm caused by a source of increased danger, the problem of legal regulation of the use of highly automated vehicles equipped with an automated driving system that does not provide for participation of the driver in the dynamic control of the car becomes not only relevant in theoretical, but also especially significant from practical aspects.

The objective of the comprehensive study being conducted by the authors was to identify and visualise key groups of problems of legal regulation of the operation of cars with an automated driving system, to formulate proposals for their solution as part of a subsequent systemic legal study. This article is devoted to the results of consideration of the first block of the identified issues.

Using the methods of the system-legal approach, formal-logical and formal-dogmatic analysis, the authors have identified the most problematic issues of legalising the terminology used in positive law and scientific sources. In particular, options for identifying the essential features of highly automated cars are proposed with the purpose to further legislatively determine the cars

that should be classified as highly automated, to reveal which software and hardware complex can be considered an automated driving system, etc.

Based on the results of solving the scientific problem, which consists in determining the directions for adapting the legislation governing the requirements for safety of vehicles and the procedure for their admission to operation for the needs of the widespread introduction of highly automated vehicles, the research can be carried out in two directions at the same time: to develop upper-level, essential requirements to safety and to develop specific, purely technical requirements for automated driving systems, as well as to develop a methodology for testing them.

As a part of the taxonomic analysis carried out by the authors to determine, on a fundamentally new basis, the range of rights and obligations of the participants in the relations under the study, it is proposed to highlight the problem of distinguishing between situations in which the driver needs to take an active part in driving a car from situations in which he is not required to be actively involved into this process.

When considering issues of liability for harm caused by a car with an automated driving system, the article focuses on the need to solve the problem of balancing the responsibility of the car owner and the manufacturer, which can be facilitated by the application of methods of comparative legal analysis.

**Keywords:** unmanned vehicle, driverless car, highly automated vehicle, legal support, driver assistance system, automated driving system, automated driving, autonomous driving.

**Financial support:** The research has been conducted with the financial support of the Russian Science Foundation in the framework of the research project No. 22-28-20334 «Legal instruments for ensuring safety of operation of driverless cars in the megalopolis», <https://rscf.project/22-28-20334/>.

**For citation:** Zemlin, A. I., Matveeva, M. A., Gots, E. V., Torshin, A. A. Problem Issues of Legal Regulation of the Operation of Cars with an Automated Driving System. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 4 (101), pp. 259–263. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-11>.

**The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.**

**Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.**

## INTRODUCTION

Self-driving technologies are becoming more widespread in the world and gaining a stronger regulatory basis. In foreign legal systems, there is an active transition from the stage of experimental regulation («regulatory sandboxes») to the stage of limited introduction of universal regulation.

So, from July 6, 2022, Regulation (EU) of the European Parliament and of the Council 2019/2144 on vehicle safety requirements<sup>1</sup> came into force in the European Union, which, among other things, puts forward basic safety requirements for highly automated and fully automated vehicles (Article 11). On August 1, 2022, the Shenzhen Special Economic Zone (China) Regulation on Smart and Connected Vehicles also came into effect, introducing permanent regulation for highly automated vehicles with a driver behind the wheel, and also allowing the use of fully automated vehicles in specially designated areas<sup>2</sup>. On March 11, 2022, the US National Highway Traffic Safety Administration revised the requirement of the Federal Motor Vehicle Safety Standards for the mandatory presence of a steering wheel in a car, thus removing a key regulatory obstacle to the introduction of fully autonomous vehicles<sup>3</sup>.

The Russian system of legal regulation of cars equipped with automated driving systems is still in the experimental stage. The key regulatory act regulating the testing of highly automated vehicles is Decree of the Government of the Russian Federation of March 9, 2022, No. 309 «On the establishment of an experimental legal regime in the field of digital innovations and the approval of the Program for the experimental legal regime in the field of digital innovations for the operation of highly automated vehicles».

<sup>1</sup> Regulation (EU) 2019/2144 of The European Parliament and of the Council of 27 November 2019 on type-approval requirements for motor vehicles and their trailers, and systems, components and separate technical units intended for such vehicles, as regards their general safety and the protection of vehicle occupants and vulnerable road users. [Electronic resource]: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/LSU/?uri=CELEX%3A32019R2144>. Last accessed 10.08.2022.

<sup>2</sup> Shenzhen unveils China's first regulation on intelligent connected vehicles. [Electronic resource]: <https://www.globaltimes.cn/page/202207/1269924.shtml>. Last accessed 10.08.2022.

<sup>3</sup> The Deputy Administrator of the National Highway Traffic Safety Administration, Steven S. Cliff. [Electronic resource]: <https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/2022-03/Final-Rule-Occupant-Protection-Amendment-Automated-Vehicles.pdf>. Last accessed 10.08.2022.

In accordance with the said resolution, an experimental legal regime for the operation of highly automated vehicles was established on the territory of Moscow, Innopolis and the federal territory «Sirius», within the framework of which the limited operation of highly automated and fully automated vehicles is allowed.

It should be noted that the transition from experimental to universal regulation requires the solution of a number of new problems of a legal nature, the solution of which is impossible without theoretical understanding. The central topics of Russian legal research published to date include the problems of ensuring the safety of vehicle operation [1–3] and the problem of liability for harm caused by a highly automated car [4–6].

Attention to the legal regulation of the use of highly automated vehicles increased significantly during the period of the spread of coronavirus infection, since the use of unmanned vehicles made it possible to minimize the so-called «cross-contamination», ensured the delivery of medicines, food, and other things to areas with a high level of risk of infection [7–9].

At the same time, in the domestic literature, with rare exceptions, there is no systematic description of the legal problems that arise in connection with the use of cars with an automated driving system [10]. In general, in a certain sense, we are talking about the development of a legislative novelty, which, however, in relation to other problems of legal regulation of transport, was also characteristic of other stages in the development of transport education and science [11–13].

In this regard, the authors aim to give an overview of the key problems facing the legislator on the way to the formation of a full-fledged legal regulation of the use of cars with an automated driving system.

## RESULTS

### Problem Issues of Legalisation of Concepts and Terminology

One of the most basic problems in the field of legal regulation of cars equipped with an automated driving system is the problem of terminology. The problem of defining key concepts in any scientific field is the initial problem for starting research [14, p. 189]. Thus, there is no consensus in the scientific literature regarding the preferred terminology that should be used for both all cars equipped with an

automated driving system, and for cars whose automated driving system allows driving in the absence of a driver in the cabin.

At present, neither the legislation nor the scientific literature has developed a unified understanding of which software and hardware systems should be considered automated driving systems, and which should be attributed only to driver assistance systems<sup>4</sup>. This distinction has great practical meaning. For example, there is growing concern among manufacturers of highly automated vehicles that consumers and regulators often overestimate the capabilities of advanced driver assistance systems and mistake them for full-fledged automated control systems<sup>5</sup>. In addition, the resolution of this issue will also have important regulatory implications for establishing differentiated requirements for drivers, the process of assessing the technical conformity of highly automated vehicles, as well as setting the standard for driver liability.

### **Problems of Admission to Operation of Cars with an Automated Driving System**

A significant layer of problems at the intersection of technology and law arises in connection with the need to revise existing approaches to the procedure for allowing highly automated vehicles to operate and assessing their safety. Thus, in comparison with the use of cars not equipped with an automated driving system, the use of highly automated cars carries a greater number of potential risks associated with operation of an automated driving system, which in the current conditions begins to perform the widest range of dynamic driving tasks. In this regard, the variety of test scenarios increases significantly, which require verification as part of the vehicle conformity assessment procedure and, in particular, testing of test samples<sup>6</sup>. At the same time, the traditional issues of admission to driving a car, medical examination [15, pp. 103–105;

16, p. 284], assessments of professionally important qualities [17] and the psychological readiness of drivers for the profession remain on the agenda [18].

It seems that the identified problem requires a comprehensive review of the current procedures for assessing the conformity of vehicles with the mandatory requirements of technical regulations, as well as the requirements themselves contained in technical regulations. Regulatory work in this direction can be based on at least two vectors.

On the one hand, essential requirements for safety of vehicles with an automated driving system can be developed and systematized. These requirements, in particular, include the requirements for the ability of an automated driving system to signal the exit from its normal operation environment or other circumstances indicating the need for the driver to take control of the car, the availability of systems for monitoring and recording road events and driver activity, and others, systems for visualizing the perception of the road situation by a hardware complex of an automated driving system in real time.

On the other hand, in parallel with this, work should be carried out to develop specific, purely technical requirements for automated driving systems, as well as to develop a methodology for testing them. This work may include, among other things, the systematization of test scenarios for the use of vehicles with an automated driving system, the establishment of requirements for simulation testing procedures, testing on the track and on public roads.

### **Problems of Determining the Range of Rights and Obligations of Road Users**

The increasing automation of driving functions raises the question of the need to revise the range of rights and obligations of road users, which involves cars with an automated driving system. The most problematic is the question of the extent to which the driver of a car should maintain control over the traffic situation along the entire route of a car equipped with an automated driving system, depending on the degree of autonomy of such a car.

So, it can be noted that the ultimate goal of creating unmanned technologies for unmanned driving is to delegate the functions of active driving from a person to a software and hardware complex, that is, in other words, to automate the driver's function. At the same time, at the current

<sup>4</sup> Clarification of the boundaries between ADAS and ADS. [Electronic resource]: <https://unece.org/sites/default/files/2022-01/GRVA-12-17e.pdf>. Last accessed 11.08.2022.

<sup>5</sup> AAI seeks to reduce 'persistent confusion' over levels of vehicle autonomy. [Electronic resource]: <https://www.repairedrivenews.com/2022/03/23/aai-seeks-to-reduce-persistent-confusion-over-levels-of-vehicle-autonomy/>. Last accessed 11.08.2022.

<sup>6</sup> New Assessment/Test Method for Automated Driving (NATM) Guidelines for Validating Automated Driving System (ADS) – amendments to ECE/TRANS/WP.29/2022/58, pp. 1–2. [Electronic resource]: <https://unece.org/sites/default/files/2022-05/WP.29-187-08e.pdf>. Last accessed 19.08.2022.



stage of their development, highly automated vehicles may not provide the necessary level of safety guarantees, in which the driver may be allowed at the regulatory level to be distracted from traffic control in cases where he is under the control of an automated driving system within the environment of its normal operation.

However, increasing the safety level of highly automated vehicles and improving automated driving systems brings closer the need for a regulatory distinction between situations in which the driver needs to take an active part in driving a car from situations in which he is not required to actively participate in this process<sup>7</sup>.

### **Problems of Liability for Harm Caused by Cars with an Automated Driving System**

As noted by domestic and foreign researchers, one of the most significant challenges for legislators and law enforcers in matters of tort liability for causing harm by highly automated cars is a significant shift in control over the risks of causing harm in the direction of the manufacturer of such a car<sup>8</sup>. Thus, with the development of unmanned driving technologies, the role of causality associated with failures in the software and hardware complex of an automated driving system increases, while the role of the human factor of a car driver decreases. In this regard, the problems of finding a fair and effective balance of responsibility between the car owner and the manufacturer are more acute, which will require a decision on the part of the legislator and law enforcers with the appearance of cases of harm caused by highly automated cars.

The authors believe that the solution to the problem of establishing the degree of responsibility of the owner of the car and the manufacturer for causing harm by highly automated vehicles, as well as the grounds for bringing the participants of the legal relations arising in this case to this liability, is in the plane of searching for possible options for combining public law measures (primarily, – administrative) and private law (civil

law) liability. At the same time, the issue of a clear and unambiguous establishment by the norms of legislation of the legal status of all categories of entities participating in the processes associated with the use of cars with an automated driving system is of particular importance.

### **CONCLUSIONS**

Within the framework of this article, the authors identified key groups of problems of legal support for the use of cars with an automated driving system, and also formulated directions for their solution.

1. With regard to the problems of terminology, the most acute problem is the problem of determining which cars should be classified as highly automated. In turn, this problem stems from the problem of determining which software and hardware complex can be considered an automated driving system.

2. The authors note that for widespread introduction of highly automated vehicles, work is also needed to adapt the legislation governing the safety requirements for vehicles and the procedure for their admission to operation. This work can be carried out in two directions at the same time: on development of fundamental, essential safety requirements and on development of point, purely technical requirements for automated driving systems, as well as on development of a methodology for testing them.

3. As part of the analysis of the problem of redefining the range of rights and obligations of participants, the authors highlight the problem of distinguishing between situations in which the driver needs to take an active part in driving a car from situations in which he is not required to be actively involved in this process.

4. In turn, when considering the issues of liability for harm caused by a car with an automated driving system, the article focuses on the need to solve the problem of balancing the responsibility of the car owner and the manufacturer.

As stated, within the framework of this article, the problems of legal regulation of the use of cars with an automated driving system are identified and systematized. Naturally, the conclusions made by the authors, offered to the interested reader, are not absolute, complete, final, however, they can become a basis for a scientific discussion. More detailed, scientifically substantiated and practically substantiated conclusions, expressing the position of the authors on the problem raised in this article,

<sup>7</sup> Law Commission, Scottish Law Commission. Automated vehicles: joint report. Law Commission Report No. 404. Scottish Law Commission Report No. 258, 26 January 2022, P. 36. [Electronic resource]: <https://www.scotlawcom.gov.uk/law-reform/law-reform-projects/joint-projects/automated-vehicles/>. Last accessed 11.08.2022.

<sup>8</sup> Expert Group on Liability and New Technologies. Liability for Artificial Intelligence and Other Emerging Digital Technologies. European Union, 2019, P. 35. [Electronic resource]: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/1c5e30be-1197-11ea-8c1f-01aa75ed71a1/language-en>. Last accessed 11.08.2022.

will be presented in subsequent publications based on the results of currently ongoing research.

## REFERENCES

1. Bazhina, M. A. Main trends in development of legal regulation of transportation in the context of digitalization [Osnovnye tendentsii razvitiya pravovogo regulirovaniya osushchestvleniya perevozok v usloviyakh tsifrovizatsii]. *Yurist*, 2021, Iss. 11, pp. 44–50. DOI: 10.18572/1812-3929-2021-11-44-50.
2. Korobeev, A. I., Chuchayev, A. I. Unmanned Vehicles: New Challenges to Public Security. *Lex Russica*, 2019, Iss. 2 (147), pp. 9–28. DOI: 10.17803/1729-5920.2019.147.2.009-028.
3. Lukashevich, S. V. A self-driving vehicle: the paradigm change as a consequence of economy digitalization. *Transportnoe pravo*, 2019, Iss. 3, pp. 3–5. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39246555>. Last accessed 19.08.2022.
4. Fedorov, D. V. Strict liability for damages caused highly automated and fully automated vehicles as sources of danger. *Vestnik grazhdanskogo prava*, 2020, Iss. 6, pp. 191–211. DOI: 10.24031/1992-2043-2020-20-6-191-211.
5. Churilov, A. Yu. Liability for harm caused during operation of an autonomous (unmanned) vehicle [Otvetstvennost za vred, prichinenniy pri ekspluatatsii avtonomnogo (bespilotnogo) avtomobilya]. *Intellectual rights: challenges of XXI century. Proceedings of the International Conference*. Ed. by E. P. Gavrilov, S. V. Butenko. Tomsk, Publishing house of Tomsk State University, 2019, pp. 127–132. DOI: 10.17223/9785946218559/17.
6. Chuchayev, A. I., Malikov, S. V. Responsibility for causing harm by a highly automated vehicle: state and perspectives. *Actual Problems of Russian Law*, 2019, Iss. 6 (103), pp. 117–124. DOI: 10.17803/1994-1471.2019.103.6.117-124.
7. Zemlin, A. I., Zemlina, O. M., Klenov, M. V. et al. Organizational and legal basis for functioning of the transport system in a difficult epidemiological situation: Textbook [Organizatsionno-pravovie osnovy funktsionirovaniya transportnoi sistemy v usloviyakh slozhnoi epidemiologicheskoi obstanovki: Uchebnik]. Chief ed. A. I. Zemlin, I. V. Kholikov. Moscow, Rusains publ., 2020, 310 p. ISBN 978-5-466-01586-7.
8. Zemlin, A. I., Klenov, M. V., Kholikov, I. V. Organizational and legal problems of preventing importation and spread of mass infectious diseases in transport (on the example of the coronavirus pandemic COVID-19): Monograph [Organizatsionno-pravovie problemy preduprezhdeniya zavoza i rasprostraneniya massovykh infektsionnykh zabolevaniy na transporte (na primere pandemii koronavirusnoi infektsii COVID-19): Monografiya]. Moscow, Rusains publ., 2020, 126 p. ISBN 978-5-4365-6573-6.
9. Chernogor, N., Zemlin, A., Kholikov, I., Mamedova, I. Impact of the spread of epidemics, pandemics and mass diseases on economic security of transport. *E3S Web of Conferences*, 2020, Vol. 203 (107), pp. 05019. DOI: 10.1051/e3sconf/202020305019.
10. Torshin, A. A., Zemlin, A. I. Characterization of unmanned cars in the context of tort obligations. *Transportnoe pravo i bezopasnost*, 2021, Iss. 1 (37), pp. 113–123. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45694384>. Last accessed 19.08.2022.
11. Zemlin, A. I., Kholikov, I. V. Axiological approaches to formation of the legal culture of a transport specialist in modern conditions [Aksiologicheskie podkhody k formirovaniyu pravovoi kultury spetsialista-transportnika v sovremennykh usloviyakh]. *Collection of scientific papers IZISP «Legal values in the light of new paradigms of development of modern civilization»*. Moscow, Infra-M publ., 2020, pp. 403–411. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44306755>. Last accessed 19.08.2022.
12. Zemlin, A. I., Petrov, Yu. I. Experience of Legal Regulation and Organization of Transport Specialists Training at the Imperial Moscow Engineering School: 1896–1913. *Herald of an archivist*, 2021, Iss. 1, pp. 248–258. DOI: 10.28995/2073-0101-2021-1-248-258.
13. Petrov, Yu. I., Zemlin, A. I., Zemlina, O. M. The Genesis of the System of Administration of the Transport Routes and of the Transport Law in Russia (9<sup>th</sup> to 18<sup>th</sup> centuries). *World of Transport and Transportation*, 2019, Vol. 17, Iss. 3 (82), pp. 260–277. DOI: 10.30932/1992-3252-2019-17-3-260-277.
14. Naumov, P. Yu., Dyachkov, A. A. Subject and intelligence: from concept to isomorphism. *Russian Journal of Education and Psychology*, 2021, Vol. 12, Iss. 6, pp. 188–200. DOI: 10.12731/2658-4034-2021-12-6-188-200.
15. Bolshakova, V. M., Kholikov, I. V., Naumov, P. Yu. Medical support of the judicial system of the Russian Federation [Meditsinskoe obespechenie sudebnoi sistemy Rossiiskoi Federatsii]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, Vol. 14, Iss. 1, pp. 103–127. DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-1-103-127.
16. Naumov, P. Yu., Bolshakova, V. M., Zemlin, A. I., Kholikov, I. V. Conceptual aspects of producing a medical examination in judicial appeal of conclusions has been implemented on the results of a military expertise. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, Vol. 13, Iss. 6, pp. 283–306. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-6-283-306.
17. Vasyukov, O. G., Bolshakova, V. M., Naumov, P. Yu. Theoretical and practical aspects of forming social responsibility of state civil employees. *International Journal of Advanced Studies in Education and Sociology*, 2021, Iss. 2, pp. 4–12. DOI: 10.12731/978-0-615-67324-0-4-12.
18. Smirnov, D. V., Naumov, P. Yu., Bolshakova, V. M. Theoretical aspects of the study of professional psychological fitness. *Psikhologiya. Istoriko-kriticheskie obzory i sovremennye issledovaniya*, 2021, Vol. 10, Iss. 6–1, pp. 77–84. DOI: 10.34670/AR.2021.68.71.008. ●

### Information about the authors:

**Zemlin, Alexander I.**, D.Sc. (Law), Ph.D. (Philosophy), Professor, Honoured Scientist of the Russian Federation, Head of the Department of Transport Law of the Law Institute of Russian University of Transport, Head of Direction of Transport Safety of the Scientific Expert Council of the Centre for Research of Security Problems of the Russian academy of sciences, Moscow, Russia, [zemlin.aldr@yandex.ru](mailto:zemlin.aldr@yandex.ru).

**Matveeva, Maria A.**, Ph.D. (Law), Associate Professor at the Department of Transport Law of the Law Institute of Russian University of Transport, Moscow, Russia, [matveeva1987@mail.ru](mailto:matveeva1987@mail.ru).

**Gots, Eugenia V.**, Senior Lecturer at the Department of Transport Law of the Law Institute of Russian University of Transport, Moscow, Russia, [evgeniya.goc@mail.ru](mailto:evgeniya.goc@mail.ru).

**Torshin, Anton A.**, Ph.D. student at the Department of Civil Law, International Private Law and Civil Process of the Law Institute of Russian University of Transport, Moscow, Russia, [a.torshin@yandex.ru](mailto:a.torshin@yandex.ru).

Article received 19.08.2022, approved 05.09.2022, accepted 12.09.2022.





## «НУЖНА НАДЁЖНОСТЬ КАЖДОГО ЛОКОМОТИВА»

**«Н**ам не нужна надёжность «как средний показатель по больнице». Нам нужна надёжность каждого конкретного локомотива. Невыполнение этого показателя неизменно вызывает необходимость содержания дополнительного парка и, как следствие, приводит к дополнительным затратам компании», – заявил 30 августа 2022 года генеральный директор – председатель правления ОАО «РЖД» Олег Белозёров в ходе заседания Совета по взаимодействию ОАО «РЖД» с предприятиями транспортного машиностроения, прошедшего на ОАО «Коломенский завод» (входит в «Трансмашхолдинг»).

В ходе своего визита Олег Белозёров ознакомился с производственными мощностями Коломенского завода, осмотрел Инжиниринговый центр двигателестроения ТМХ.

Имея более чем полуторавековую историю, сегодня предприятие выпускает широкий спектр продукции для РЖД. Именно из его цехов выходят магистральные пассажирские тепловозы ТЭП70БС, а также пассажирские электровозы ЭП2К.

В настоящее время Коломенский завод является центром компетенций в области двигателестроения, он производит дизельные двигатели и агрегаты для локомотивов, кораблей и нужд малой атомной энергетики.

Суммарные инвестиции ТМХ в техническое перевооружение предприятия и увеличение объёмов выпуска продукции составили более 12,5 млрд рублей.

«Сегодня мы с вами убедились, что потенциал предприятия по-прежнему соответствует мировому уровню и предприятие способно решать самые сложные научно-технические и производственные задачи», – сказал глава ОАО «РЖД».

ТМХ представил свои перспективные разработки, которые вскоре могут выйти на сеть РЖД: маневровый тепловоз ТЭМ23 и магистральный грузовой тепловоз 3ТЭ28, а также перспективные транспортные и энергетические двигатели 16ЛДГ220 и 1–9ГМГ.

По словам Олега Белозёрова, создание мощного тепловоза на основе дизельного двигателя нового поколения является для компании ключевым вопросом технологической безопасности перевозок на Восточном полигоне.

«Мы возлагаем большие надежды на представленный сегодня магистральный тепловоз 3ТЭ28. Надеемся на своевременную постановку его на производство, так как от этого напрямую зависят показатели работы компании», – подчеркнул он.

**По материалам пресс-центра ОАО «РЖД»:**  
<https://company.rzd.ru/ru/9397/page/104069?id=276715> ●

## «WE NEED RELIABILITY IN EVERY SINGLE LOCOMOTIVE»

**«W**e do not need reliability «like the average for a hospital». No, what we need is reliability in every single individual locomotive. Failure to meet this criterion invariably results in the need to maintain an additional fleet – and, as a result, leads to additional costs for the Company», said Oleg Belozеров, Chief Executive Officer and Chairman of the Board of Russian Railways.

Belozеров was speaking during a meeting of the Council for Cooperation between Russian Railways and Transport Engineering Enterprises, which was held on 30 August 2022 at ОАО Kolomensky Zavod, a part of Transmashholding.

During his visit, Oleg Belozеров also became acquainted with the production facilities of the Kolomna Plant and toured the TMH Engine Engineering Centre.

With more than a century and a half history behind it, the Kolomna Plant today produces a wide range of products for Russian Railways. Its workshops manufacture the main passenger TEP70BS diesel locomotive, as well as the EP2K electric passenger locomotive.

The Kolomna Plant is currently a competence centre in engine construction and manufactures diesel engines and units for locomotives and ships. And in addition, it also meets the needs for small-scale nuclear power.

TMH has made a total investment of more than 12,5 billion roubles in carrying out a technical refitting of the enterprise and increasing production volumes.

«Today we have made sure that the enterprise's potential still corresponds to a world-class level and that the enterprise is able to solve the most complex scientific, technical and production tasks», said the head of Russian Railways.

TMH presented its promising developments, which may soon enter service on the Russian Railways' network, including the TEM23 shunting diesel locomotive and the 3TE28 mainline freight diesel locomotive, as well as the advanced transport and power 16LDG220 and 1–9GMG engines.

According to Oleg Belozеров, the creation of a powerful diesel locomotive based on a new generation diesel engine is a key issue for the Company regarding the technological reliability of transportation in Russia's eastern region.

«We have great hopes for the 3TE28 main diesel locomotive which was presented here today. We hope that it will be put into production in a timely manner because the Company's performance directly depends on it», stressed Belozеров.

**Compiled based on the news released by the press centre of JSC Russian Railways:** <https://eng.rzd.ru/en/9517/page/104070?id=4753> ●



## HISTORY WHEEL



### ECOLOGICAL SAFETY OF TRANSPORT: HISTORICAL VIEW

266

*A retrospective journey  
to the beginnings of the ecological  
assessment of transport vehicles  
from the point of view of their safety  
for passengers. Birth of approaches  
and methods 130 years ago.*





# On the Issue of Cleaning Up the Air in Passenger Coaches (1891–1892)



## News from the archives

This material briefly reproduces the main content of the article by Alexander Kritsky in the «Railway Business» journal in 1891 and 1892. The very fact of a multi-issue and very voluminous publication shows how much attention was paid at one time to the issue of air purity in railway passenger cars. The original punctuation, vocabulary and abbreviations adopted at that time are preserved in the text as much as possible.

**Keywords:** transport, history of transport, railways, passenger coaches, ecology.

*«Judgments take on the character of necessity,  
when they endure a double critical process  
statement of reasons and agreement by experience».*

**H. Lewis**

**W**e briefly examined in the pages of this journal<sup>1</sup> the changes to which the air in passenger cars can be subjected, and as a result of which it becomes more or less harmful to the passengers in it.

The next task that seems to be necessary to solve is, first, to determine, as far as possible, strictly what impurities in the car air and in what percentages should be recognized as harmful to

breathing of passengers, both in themselves and because of the influence that they affect the change in the normal relations of the elements of atmospheric air. Once this problem has been clarified, it would be necessary to carry out a qualitative and quantitative analysis of this car air in order to draw up a conclusion about its quality. A number of such analyses and subsequent generalisations could lead to simplification and facilitation of the issue of determining the air quality in passenger cars.

<sup>1</sup> See «Zheleznodorozhnoye Delo» [Railway Business], 1891, No. 39–40 and 42–43. – Ed. note.

**Acknowledgements:** the editors express their gratitude to the staff of the library of Russian University of Transport for their help in preparing the publication.

**For citation:** Kritsky, A. M. On the Issue of Cleaning Up the Air in Passenger Coaches (1891–1892). World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 4 (101), pp. 266–274. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-12>.

**The text of the archived article originally written in Russian is published in the first part of the issue.**  
**Текст архивной статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.**

The next task after this will be to find means and ways to bring the spoiled and designated for breathing air into such a state in which it could be recognised as harmless!..

These are the immediate tasks that should be pursued when solving the problem of improving the air in passenger cars; obviously, they differ significantly from those relatively broad tasks that can and should be presented in solving such problems as the question of improving the air in schools, children's, hospitals, etc. In the latter case, the tasks are reduced not only to preservation and maintaining the constitutional properties of the body, but also to a correspondingly normal course of its development, as far as it depends on the quality of the indoor air.

For a solution to the question of the purity of the air in a given room, we are used to turning to our sense of smell, that is, we are used to judging the degree of purity of the air by its smell; obviously, this method is quite subjective, but it will not be necessary to turn to it more than once. Prof. Pettenkofer, who devoted a lot of time to studying the issue of improving the air in residential premises, recognizing assessment of air by smell as quite correct, believed that the most rational and, moreover, quite objective solution to the problem of air quality could be obtained if we had at our disposal a method of concentrating and direct measurement of odorous substances contained in the air. Later observations and practical data showed that the smell cannot serve as a sure means for assessing the air in enclosed spaces, as a result of which it should be handled with extreme caution. The bad odor, according to Professor Naegeli, which accompanies decomposition, only indicates that the embryonic forms are still developing under the influence of humid air; the most dangerous moment comes when the humidity decreases and germinal forms, drying up, spread in the air in the form of dust. The smell stops, but the air becomes extremely spoiled...

Having familiarised ourselves somewhat with the work on determining the quality of air in passenger cars depending on the content of carbon dioxide in it, we now turn to assessment of such definitions in general.

There are no sources of carbon dioxide in the cars, except for the current excretions of the body, for example: the processes of decomposition of organic compounds in the air and development of microorganisms (some scientists believe that

carbon dioxide can serve as a measure of these processes<sup>2</sup>), tobacco smoking, artificial lighting and heating of cars; to this should also be added the residual carbon dioxide contained in the air and enveloping dust particles and tissue fibers. It is known that dust particles do not diffuse in the same way as air in general and carbon dioxide in particular, walls and even cracks filter them, they settle and can gradually be deposited in layers. This circumstance was especially sharply revealed during air analyzes by Dr. Tolvinsky in tents, where, despite the large pores in the canvas (pierced even by rain), the air was just as bad as in stone rooms. I draw attention to these sources of carbon dioxide because their existence in the car is exactly the circumstance that Pettenkofer emphasizes so much when recommending his scale, and which one has to reckon with in one way or another.

All of the above and, in general, the instability of the Pettenkofer method leads us to the conviction that the judgment about air quality, based on the measurement of carbon dioxide in it, is extremely unreliable and can lead to serious errors.

As for the direct effect of carbon dioxide on the body, most scientists agree that the content of carbon dioxide, usually found in indoor air, is not harmful and, therefore, carbon dioxide cannot be considered as a poisonous admixture to car air. The accumulation of carbon dioxide up to 6–7 % is often tolerated without any complaints about such air (Leblanc, Smith and others). Dr. Albitsky proved with his experiments that harm and deep disorders in the body begin with a relatively high percentage of carbon dioxide in the air, namely between 10 % and 20 %, and 30 % of carbon dioxide produces positive asphyxiation.

Now the question naturally arises, which of the car air impurities considered by us are the most harmful and whether there is any other way to determine the quality of the car air.

We have already said that in the atmospheric air there is constantly a certain amount of free ammonia, which fluctuates within very significant

<sup>2</sup> In view of favourable conditions that take place in the cars for the processes of decay and development of microorganisms, namely high humidity and high temperature (about 20°C), serious attention should be paid to this source; here, by the way, it should be noted that with the decomposition of organic substances, the release of carbon dioxide does not always go in parallel (Dobroslavin) and that the assumption given in brackets requires confirmation by experiments.



limits; in the air of the car, this ammonia content increases quite significantly, partly due to the addition of protein ammonia to it, which is released during the processes of decomposition of organic dust particles that are carried in the air of the car, as well as settled on walls, furniture, etc., or have not yet been separated from the surface of the skin and mucous membranes of the body, partly due to the addition of ammonia, which is a product of the decomposition of urine in retirades.

The question of what amount of ammonia in the air of the car can be allowed as not harmful to passengers still needs to be resolved. It is known that the amount of ammonia in poorly maintained residential premises reaches up to 1 % (Edwards); of course, such a content of this gas in the air of the car, despite the great adaptability of the body, cannot pass without a trace.

Determining the excess of ammonia, above atmospheric, in the air of cars and living quarters in general, according to some scientists, can serve as a measure of air quality and the degree of its harmfulness; from this point of view, a detailed study of ammonia, as an impurity in car air, is of undoubted interest, especially since there is strong evidence in favour of the advantage of ammonia as a measure of air purity, compared with carbon dioxide.

At present, organic dust, which serves as a soil for development of microorganisms and carries in its composition the germinal forms of the latter, is recognized by almost everyone as the main factor in air damage. The constant existence in the air of such germs and microorganisms capable of causing the processes of fermentation and putrefaction was confirmed by the excellent experiments of Prof. Pasteur. This dust is mainly attributed to the odourousness of car air and the poisonous effect of the latter on the body.

From all of the above, we see to what extent it is important to be able to subject the dust of the car to research. This study would best allow us to judge the quality of the air in the car.

In addition to organic dust, we must turn our attention to car dust in general. We know that dust particles contribute to contamination of the surface of the mucous membranes of the larynx, large and small respiratory tracts, etc., sticking to them and thus adversely affecting their functioning, often producing an inflammatory

state of the membranes and even ulcers – not I'm talking about the irritating effect that dust has on the general nervous system. Anyone who has had to ride in cars or spend some time in the dusty rooms of archives, libraries, museums, etc., is well aware of the fact that the pharynx dries up accompanied by thirst, the fact of drying of the nasal cavity, the appearance of a runny nose, etc.

As for the methods for determining the quality of car air, based on the presence of organic dust particles in it, similar to protein substances, then naturally, we must dwell on methods that are more applicable and more reliable under the existing situation in the cars.

A causal relationship has long been noticed between the existence of ozone in the air and the degree of purity of the latter, i.e., the degree of content in it of extraneous organic residues capable of being oxidized. According to Ebermeyer's experiments, even in a deliberately clean residential area, it was not possible to detect the presence of ozone; only with the doors and windows wide open for the free entry of the wind did a weak *ozonoscopic* reaction appear, which disappeared as soon as the access for the free entry of the wind was stopped...

...These and many other experiments convince us of the validity of the previously indicated causal relationship between disappearance of ozone and purification of air from organic residues; and to these latter, as already mentioned above, harmfulness of indoor air is mainly attributed.

All of the above gives us the right to use ozonometric studies of it to determine the quality of car air, in extreme cases, with much less accuracy, ozonometric study of air samples taken at various points in the car. These studies can be carried out by gradually introducing a certain amount of ozone into the air of the car, developed by any means, electrical, chemical or even mechanical, and observing the change in color of ozonometric (starch iodine) papers located along the car<sup>3</sup>.

The determination of carbon monoxide in cars depending on heating, as well as tobacco smoking, is of undoubted interest in view of the toxic effect on the body that even a relatively small presence of this gas in cars has. The experiments of Grean, Gryaznov and others showed that when smoking tobacco, a significant amount of carbon monoxide

<sup>3</sup> The method of preparing ozonometric paper is described in detail in the Dobroslovian hygiene course, 2<sup>nd</sup> ed., Part I.

develops, and therefore this issue deserves serious research. Naturally, we should be interested in the issue of improving the air in cars mainly with those impurities, the harmful influence of which we suspect; here it is necessary to include hydrogen sulphide gas, some organic acids, etc.; the presence of these latter in cars, in all likelihood, does not exceed very small values, and therefore the main role in air pollution will remain on the side of dust.

Now let's move on to considering the issue of air humidity in the cars.

The artificial conditions in which a person is placed in the closed atmosphere of cars change to a greater or lesser extent the functions of his organism and cause them to be coordinated with each other. The vast majority of *coordinations*, owing to their complexity and variety, cannot be discovered by us; however, when studying the influence of artificially created conditions on the organism, one should always keep in mind the existence of changes and coordination of various functions of the organism caused by the combination of these conditions. From this point of view, the hygrometric state of the air in residential premises is of incomparably greater interest than it seems at first glance at the matter.

Despite the apparent simplicity of the question under consideration, it is still in the group of little studied and from time to time arouses a complete disagreement in opinion, probably due to its insufficiently correct formulation.

From the graphic table of humidity, placed in No. 39–40 «*Zheleznodorozhnoe delo*» of 1891, one can see how significant fluctuations are subjected to both relative and absolute humidity of atmospheric air; for us, obviously, the question of relative humidity is more important, since its percentage expression gives an idea of how much more a given air can take moisture away from existing wet objects<sup>4</sup>. It would be extremely hasty, based on such given average values of atmospheric air humidity at some or even many points, to try to establish humidity standards for enclosed spaces in general and cars in particular. The influence of a given hygrometric state of atmospheric air on the body cannot in any way be identical with the

influence of the same hygrometric state of enclosed air, as will be clarified below – rather, a significant difference should be expected.

The conditions for staying in cars, speaking in general, are very close to each other in different even very remote points of the state, especially during those periods of time when we are under the most prolonged and greatest influence of closed air, i.e., during those periods that are of the greatest interest; meanwhile, choosing the norms of humidity in car air, we are talking about the average annual values of atmospheric humidity, about the fact that nature itself indicates to us certain limits, about the habit of certain fluctuations in humidity that exist in a certain area, etc., and so on. Even conclusions about harm or harmlessness of one or another vapor content in closed air are made on the basis of considerations that such and such humidity occurs in nature in healthy areas, while these limits are very wide, for example: 13 % (Yalta, Sevastopol, Tashkent), 96–90 % and above (Moscow, Simferopol and others). The groundlessness of such considerations is too obvious to be elaborated upon.

As a result of such a formulation of the question, no humidity standards have yet been developed with which it would be possible to compare this hygrometric state of car air. Everyone who begins to speak or write about this subject, with equal right, proposes his own norms, and just like others, without sufficient reason.

Professor August considers humidity to be normal between 45 % and 50 %; in Boston, a commission of specialists determined that humidity should be considered normal from 60 % to 70 %; Professor Chaumont gives values for England from 70 % to 80 %; Dr. Taratkevich for our climate, in his work on ventilation of cars, considers it necessary to establish norms of 40–60 % on the ground that the humidity limits of America and England cannot be applied to our continental climate, where outside air is usually with a low percentage of humidity (?).

Here is what E. Lenz says about the choice of limits in the content of water vapor for residential premises: below 40 % humidity is of course insufficient; by inhaling such dry air the lungs would be too dry (?)<sup>5</sup>; on the contrary, the

<sup>4</sup> The degree of humidity of a given air, as it turned out recently, is most clearly characterized by the amount of under-humidification (Sättigungsdeficit), which expresses the amount of vapor (in grams per cubic meter) that this air can still absorb before it is saturated, or, approximately the difference between the pressure of the vapors saturating the given air and the pressure of the vapors contained in it in reality.

<sup>5</sup> In Petersburg, which is distinguished by its dampness, according to prof. Flavitsky, the best clear days of the year with fine weather and pleasant healthy air are accompanied by a low percentage of humidity below 50 %, even at 30–24 % and below.



| No. of gen. table (work of Taratkevich) | Time of observations | Number of occup. seats absol. and % | %, Humidity |      |       | °C, Temperature |       |       | Number of observations | Note         |
|-----------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|-------------|------|-------|-----------------|-------|-------|------------------------|--------------|
|                                         |                      |                                     | Average     | max  | min   | Average         | max   | min   |                        |              |
| 10                                      | 11/III               | 38/55                               | 63,6        | 77   | 60    | 19,3            | 20,0  | 17,0  | 3                      | Ventil. open |
| 11                                      | –                    | 30/45                               | 63,6        | 72   | 64    | 21,9            | 24,0  | 19,8  | 3                      |              |
| 12                                      | 20/I                 | 42/60                               | 93,5        | 98   | 88    | 16,7            | 17,0  | 16,4  | 2                      |              |
| 13                                      | –                    | 45/65                               | 77,0        | 79   | 75    | 19,9            | 24,0  | 16,2  | 2                      |              |
| 14                                      | 23/I                 | 58/84                               | 85,0        | 92   | 79    | 20,1            | 22,0  | 18,4  | 2                      |              |
| 16                                      | 16/III               | 70/100                              | 74,5        | 79   | 67    | 22,9            | 24,6  | 18,4  | 4                      |              |
| 17                                      | –                    | –                                   | 75,0        | 79   | 71    | 23,0            | 25,4  | 20,4  | 4                      |              |
| 18                                      | –                    | 62/90                               | 83,0        | 85   | 81    | 17,9            | 19,8  | 16,0  | 2                      |              |
| 19                                      | –                    | 70/100                              | 75,5        | 78   | 73    | 21,4            | 23,9  | 19,8  | 2                      |              |
| 20                                      | –                    | –                                   | 74,0        | 77   | 71    | 23,0            | 24,6  | 21,6  | 2                      |              |
| 21                                      | –                    | 68/97                               | 78,0        | 78   | 78    | 20,0            | 20,0  | 20,0  | 1                      |              |
| 22                                      | 22/III               | 47/68                               | 73,6        | 79   | 66    | 19,8            | 22,0  | 17,4  | 3                      |              |
| 24                                      | –                    | 50/72                               | 70,0        | 72   | 66    | 21,2            | 21,2  | 21,0  | 3                      |              |
| 25                                      | –                    | –                                   | 82,0        | 86   | 74    | 19,6            | 22,4  | 18,0  | 3                      |              |
| 26                                      | –                    | 58/84                               | 77,0        | 79   | 74    | 20,8            | 21,6  | 20,0  | 3                      |              |
| 29                                      | 30/III               | 68/97                               | 78,0        | 81   | 75    | 19,0            | 20,0  | 18,0  | 2                      |              |
| 30                                      | –                    | 54/78                               | 79,5        | 83   | 76    | 18,4            | 19,2  | 17,6  | 2                      |              |
| 31                                      | –                    | 57/83                               | 81,0        | 87   | 78    | 18,9            | 20,9  | 18,0  | 3                      |              |
| 32                                      | –                    | 57/72                               | 78,0        | 80   | 77    | 21,3            | 22,0  | 20,2  | 3                      |              |
| 33                                      | –                    | 50/72                               | 78,0        | 73   | 78    | 16,0            | 16,0  | 16,0  | 1                      |              |
| 34                                      | 4/IV                 | 53/94                               | 74,6        | 76   | 73    | 20,9            | 23,2  | 19,0  | 3                      |              |
| 36                                      | –                    | 70/100                              | 67,0        | 75   | 62    | 19,5            | 20,0  | 18,4  | 3                      |              |
| 37                                      | –                    | –                                   | 77,3        | 80   | 75    | 19,1            | 20,0  | 18,4  | 3                      |              |
| Average of all                          |                      |                                     | 76,46       | 80,4 | 73,09 | 20,01           | 21,41 | 19,48 | 59                     |              |

humidity of the air can reach 100 % without any particular trouble for the breathers and without harm to health, but with this perfect saturation, the slightest drop in temperature produces a precipitate of the water in the vapor, from which all objects that receive moisture become damp; so we will take the upper limit of humidity below 100 %, about 80 %.

If the internal temperature is 18°C, then at 80 % humidity this air can cool down to 14,5°C, producing a precipitation of water vapor; at 40 %, it can cool from 18°C to 4,3°C without vapor deposition.

What is the degree of humidity actually encountered in passenger cars?

Dr. Taratkevich made a number of observations on humidity in cars of various classes; the largest number has been determined:

it was made in third-class cars, which is why I give here humidity readings in connection with temperature for third-class cars.

The highest observed humidity = 98 % at 17°C, the lowest 47 % at 15,6°C., the latter in an old class II car. Using these data, one can only come to the conclusion that humidity in passenger cars is extremely high even in the cold season (most of the observations were made in January and March), with a slight decrease in air temperature, vapor is already deposited on walls, windows, etc.; along with this, development of organic dust decomposition processes is more energetic, as a result of which the car air becomes odorous and extremely unpleasant.

After briefly reviewing the hygrometric state of air in cars, it remains for us to consider

some considerations regarding the choice of humidity standards. This question, which plays a very important role, I believe, could be solved only depending on the thermal economy of the body, that is, on the desire of our body to maintain thermal equilibrium, despite the difference in external conditions.

We know that, due to various life processes, a huge amount of heat is released in our body, according to Pettenkofer, more than 3 million units per day; this heat could be heated from 0°C to 100°C 30 cubic decimeters of water; under certain circumstances, the amount of heat released can increase or decrease by up to 50 %; at the same time, in order to preserve health, it is necessary that the heat of the body does not change significantly, i.e., that the heat input inside the organism and the expenditure on its periphery are in some balance.

How is the body's thermal equilibrium maintained?

In this case, we are only interested in the question of the expenditure of the excess developed heat by the body.

The expenditure of such a huge amount of heat by the body occurs in three ways: a) by radiation; b) by transmission through other bodies; and c) by evaporation. There is a constant coordination between these three paths; the increased expenditure of heat in one way is accomplished at the expense of the other two, and vice versa. The expenditure of heat by radiation and conduction under normal conditions is constant to some extent; in evaporation, one should see the most important means at the disposal of the organism for restoring the disturbed balance in its thermal economy.

We have already seen how much water vapor is released from the body. During the experiments of Voight and Pettenkofer with the famous Munich respirator, it was found that by pulmonary and skin respiration, water evaporates in 24 hours from 900 to 2000 grams or more, as a result of which 504,000–1,120,000 units of heat are taken from the body (One gram of water for circulation in steam consumes 560 units of heat released by the body).

The following table, compiled according to Pettenkofer, gives an idea of the striking difference in quantitative effects that is achieved by evaporation during pulmonary respiration of an adult, depending on temperature and humidity.

| Temperature, °C | Humidity, in % | The amount of heat released per day in calories | Difference |
|-----------------|----------------|-------------------------------------------------|------------|
| 0°              | 0 %            | 293 040 cal.                                    | –          |
| 0°              | 50 %           | 279 090 cal.                                    | 13 050     |
| 0°              | 100 %          | 265 050 cal.                                    | 14 040     |
| 30°             | 0 %            | 274 050 cal.                                    | –          |
| 30°             | 50 %           | 189 720 cal.                                    | 84 930     |
| 30°             | 100 %          | 105 390 cal.                                    | 84 330     |

The human body, however, has a huge degree of adaptability, but it should be remembered that the intensity of functioning of any organs or their prolonged weakening could not pass without leaving a trace in the sense of influencing the general condition of the body.

With dry and warm air, functioning of the vasomotor nerves increases and, at the same time, evaporation; enhanced functioning produces known morbid phenomena in the body, the degree of which is in direct proportion to intensity and duration of functioning.

In warm and humid air, maintenance of thermal equilibrium in the body is extremely difficult since the above ways of expending heat are already paralyzed to a greater or lesser extent. Depending on the degree of humidity of the closed air, the amount of moisture released by the body is significantly reduced. This amount must be considered as a function of humidity of the ambient air, which is unfortunately not known; it is easy to see that there should be an inverse relationship between these two quantities (E. Lenz). The excess of accumulating heat in warm and humid air and increased functioning of the organs, striving to restore balance, are reflected in a certain painful way on the body.

Let us now consider the real conditions in which the passengers of the cars are in relation to maintenance and regulation of the thermal economy of the body.

The radiation of the body is completely eliminated in the tightness of the car, since the body is surrounded by equally warm bodies, i.e., inflow and outflow are mutually covered, but in places close to walls and windows, extremely harmful non-equilateral radiation occurs; thermal conductivity decreases to extremely small sizes, since the air of the car, having very low mobility and reduced, due to relatively high humidity, thermal transparency, soon acquires a temperature close to the temperature of the surrounding warmer environment. And so the main expenditure



of heat falls on evaporation of moisture from the skin and membranes. At an elevated temperature and a certain, still insufficiently elucidated degree of humidity in the car air, the pores of the skin open up extremely, a need is felt for an increased air flow in order to increase the transfer of accumulated heat; meanwhile, the air of the car seems to us completely motionless<sup>6</sup>, the open pores are polluted with car dust, in which the work of decomposition begins, there is a lack of air, thirst, that is, the need to cool the shells, and even excessive dryness; the last circumstance (deception of feeling) was observed more than once in cramped living quarters with warm and humid air.

Usually, supporters of more humid air, as well as supporters of drier air in living quarters, defend their one-sided opinion on the influence of the climate of various localities on human health. This grateful ground of defense requires, however, the utmost discretion, owing to the complexity of the conditions involved<sup>7</sup>.

Refraining from considering this side of the issue, I will proceed to clarify the role that a change in the proportions of oxygen in the inhaled air can play in relation to the harmless stay of passengers in the car.

Above<sup>8</sup>, we pointed out the fact that the volumetric oxygen content in atmospheric air is very close to constant, its fluctuation amplitudes are in very small limits of 0,04–0,13 %; meanwhile, in the air containing many organic, easily oxidized substances, the researchers found constantly less oxygen.

A rich series of data obtained from Smith's analyses in Manchester and many other places in Great Britain indicate a constancy in reduction of oxygen under certain conditions. If we pay attention to how much air passes through our lungs, then a relatively small deficiency in oxygen will give a noticeable decrease in total.

The decrease in oxygen in the air occurs due to a change in barometric pressure, due to displacement of part of it by water vapor, various gases, solid suspended dust particles, etc. In view of the lack of direct experiments, there are no data to judge this.

Since, as oxygen decreases in the air content, various harmful impurities can take its place, the circumstance of reducing oxygen in the car air

should attract serious attention. This last may indicate the existence in the car air of certain unfavorable or even harmful conditions that modify the normal composition of the air. Unfortunately, analysis of the oxygen content in the air are extremely difficult, and are available only to a well-equipped laboratory, so we have to abandon these determinations in the car air.

All of the above shows that the decrease in oxygen in the car air can by no means be ignored. The circumstances of this decrease in the oxygen content clearly indicate the fallacy of the opinion that the decrease in oxygen existing in living quarters is so small that it can be generally neglected, on the grounds that an incomparably greater decrease in this component of air occurs in nature and we still feel good.

Leaving aside the enormous physiological influence that a change in atmospheric pressure<sup>9</sup> has on our organism, I will say a few words about the hygienic significance of light.

This question is relatively young to be able to come to an unconditional solution to it. From the experiments of Speck, Fubini, Ronk and others, it turned out that light increases the release of carbon dioxide. To what extent this circumstance affects, in the sense of counteracting the accumulation of an excessive amount of carbon dioxide in the body, there is not enough data to indicate. Davies and Blunt showed that strong illumination adversely affects development of lower life forms, bacteria; on this basis, light is ranked among the most powerful disinfectants. If the dwelling is abundantly lit by sunlight, then the processes of decay of organic substances, smoldering and decay are significantly reduced. The large number of windows in cars is, of course, an enormous advantage in this respect compared with living quarters. Not the last role is played by the sun's rays in the sense that by producing local heating of objects or air, they contribute to the imbalance of the latter and cause air currents, which in themselves can inhibit development of lower organisms...

Let us proceed to consideration and evaluation of those measures that are practiced to one degree or another by the railways in the form of improving the air of passenger cars.

It is obvious that in order to achieve more satisfactory results on the way to this goal, it is necessary to combine arrangement of cars

<sup>6</sup> At a speed of less than  $1/2$  meter per second, we feel surrounded by absolutely calm air, only at a speed of 1 meter do we begin to feel a slight movement of air.

<sup>7</sup> F. Klöden. Phys. geogr. Healing and harmful climates.

<sup>8</sup> See No. 41–42 «*Zheleznodorozhnoe delo*» of 1891. – Ed.

<sup>9</sup> Flammarion considers the pressure of about 764 mm Hg to be the most favorable for the general condition of the body.

themselves with their maintenance during operation. Much has already been done in this regard, but much remains to be done to achieve a possible improvement in the air intended for breathing passengers.

The measures taken by our railways are directed chiefly to improving the design of cars in general, to improving their heating, lighting and ventilation systems; for this, much less attention is paid to cleaning the cars from dust and dirt, as well as cleaning and disinfecting the retractors during operation of cars.

All this is too clear for it to be necessary to expand on the importance of keeping the interior of the car clean and tidy and on the need to immediately eliminate any fires that have formed, partly from a lack of cleanliness, partly from the careless handling of various kinds of garbage, foci, introducing impurities harmful to the body of passengers into the air of the car.

Obviously, ventilation and ventilating come into their own only when the requirements for cleanliness of cars are met, and until then, both, in most cases, turn out to be invalid. I have already cited Professor Pettenkofer's sharp, but in this case very apt expression on this subject, but now I pay attention to it because many people see ventilation as the main and even the only means for improving the air of cars, without attaching due importance to everything else; it is also obvious that by the mere observance of even impeccable cleanliness, we will not go far along the path to the goal. Where we have to deal with the *inevitable* steady, periodic or constant release into the air of substances that contribute to pollution of the latter, we must turn for help to ventilation, which in this case alone can bring the air of the car closer, in quality, to the required one. As for disinfection of cars, this latter, in the current state of the issue, as an independent measure for our purposes, should recede into the background.

We have already firmly established ourselves in the concept that the main factor in deterioration of car air is dust, and especially organic dust. This circumstance makes us, first of all, strive to clean the air of cars from dust. It is impossible to completely clean the air from dust, but there is a full opportunity to significantly reduce its amount by taking advantage of its physical properties.

Generally speaking, cleaning of cars from dust, dirt, etc. during their service costs, with a certain passenger traffic on a given road,

depending on the number of cars serving and, as a result, more or less waiting for setting to the train. However, even on such roads, where the cars are outside the trains for a sufficient time to clean them, and where there are artels of workers special for this purpose, cleaning of cars has a character of an accident; this circumstance must be attributed to the absence of any system in this matter; where there is no such helmsman, the means help little.

I will not dwell on such ordinary things as washing the floors in the cars, knocking out and airing the seat cushions, rugs, etc.; the rational use of these measures practiced by all railways presents absolutely no difficulty. Here I want to make only a few remarks, which to a large extent could help the cause of reducing dust in cars.

First of all, in this regard, soft cushions of passenger seats draw our attention. Everyone knows that upholstered furniture contains a lot of dust, that this dust, generally speaking, cannot be knocked out, since the inner stuffing of pillows (hair, grass, etc.) itself is a collector and a constant source of dust, it is easy penetrating outside. Those who have had to be present when passing an old hair through a scutching machine know what a large amount of fine dust is emitted.

It is known that the wooden frame of the pillow, in which, together with springs, is placed, its inner stuffing, both from below and from above, is usually covered with a rare hemp or linen fabric, which is not able to keep dust from freely penetrating it outwards with any blow to the pillow, even a small one, which is usually accompanied by the descent of a passenger into the seat, not to mention the absorption of various gases by upholstered furniture. All this points to the urgent need to replace the rare fabric with a dense one, no matter whether it is carefully dyed tarpaulin, good oilcloth, or anything else of the kind; only on top of a cover as less permeable to dust as possible, a fine upholstery should be applied, which in this case will be covered mainly by external dust, and this latter can be easily knocked out and removed with a slightly damp cloth<sup>10</sup>.

Everyone knows that in cars equipped with upholstered furniture, the air is extremely thin even after ventilation. Often it was necessary, using the sense of smell, to recognize the air of

<sup>10</sup> Upholstered spring furniture without stuffing is currently used on American roads, drawings of such furniture can be found in the American journal «*Nation, Car and Locom. Builders*» (1891, Vol. XXII, Number 5 Supl).



class I and II, going in a train without passengers (this is especially noticeable in cars with compartments), worse than in a class III car filled with the so-called pure public. In the work of Dr. Taratkevich we find that the air in a class II car, given the corresponding number of passengers, would be incomparably worse than in a class III car. New cars built on Nikolaevskaya railway eliminate the possibility of looking for the main reason for this circumstance in the leakage of window frames, doors, etc.

Sources of dust in cars are also various kinds of panels, floorings, etc. Rope rugs (resin) should certainly not be allowed in cars, since they absorb a lot of dust that is exposed to moisture, sputum, etc., decomposition, dust from blows and friction with feet rises into the air and infects it. The best rugs are thick tarpaulins, from which it is possible easily to wash off dust and dirt from time to time with a rag or mop.

On some roads, it is customary to wash walls and ceilings with water from time to time, whether wooden or upholstered with oilcloth. For this purpose, a more convenient and expedient method can be recommended. A sleeve is inserted into each car in turn, equipped with a metal head with extremely small holes; by spraying water, they moisten the air, walls, furniture, etc. When the dust settles, then carefully collect it from the furniture with damp rags, and from the walls and ceiling with rollers, proposed by Dr. Oswald-Wolf, wrapped in a sponge, cotton wool or cloth and placed in a fork equipped with a long handle; the winding obviously requires thorough washing as it gets dirty.

Since ventilation of cars empty of passengers plays a very important role in the sense of improving the air of cars, it is necessary to arrange windows in such a way that they can be conveniently opened at any time of the year. The best type in this regard is the drop frames. This type of frames, practiced on various railways, received the right of citizenship on Nikolaevskaya railway.

From the foregoing, we see that the tasks of ordinary car disinfection, in the current state of the issue, are reduced to a minimum and that cleaning of cars and ventilation given earlier, to which we now turn, are the main areas that completely absorb our attention in the issue of air sanitation of passenger cars.

The immediate task of car ventilation is not to restore normal composition of the air, which is obviously unattainable, but to remove and

disperse harmful impurities in car air, mainly organic dust, which serves as a medium for various kinds of organic processes. The scattering of dust particles caused by ventilation is in itself capable to some extent of weakening the energy of the processes of development and decomposition. Duclos says that dispersal of germs kills their action; the same must be said about those putrefactive fungi and spores that form whole colonies that float in the air of the car.

The next task of ventilation, no less important, but to which very little attention has been paid until recently, is to help maintain the thermal equilibrium of the body with the help of a steady exchange of air. Neglecting this last task still feeds such theories as the theory of heating and ventilation with heated air brought to body temperature or even higher.

Consideration of this still far from clarified problem is not included in the program of this study, and I will allow myself to touch on it only in passing insofar as it is necessary for judging the ventilation practiced in cars with heated air; I now turn to the next problem of ventilation.

It is quite clear that in the car, if it were a completely isolated space, not communicating with the outside air, the critical moment for breathing would finally come sooner or later – depending on the number of passengers and on the volume of the car, more correctly, on the initial volume of fresh air...

Now let's move on to the consideration of those devices that achieve artificial ventilation of cars.

All devices of this kind are divided into two main groups: the first of them is based on direct pushing of fresh air into the car by the force of the wind, the second – on exhaustion of spoiled air from the car also by the force of the wind; it is assumed that the same amount of fresh air enters the car through natural ventilation. Combinations of ventilation devices of both groups are rare.

We know that the work of all such apparatuses, acting by the force of air currents, is closely dependent on these latter, and that this circumstance determines the inconstancy of their action.

**A. M. Kritsky**  
(*Zheleznodorozhnoe delo [Rail Business]*)  
Iss. 39–40, 41–42, 43–44, 45–46  
(1891–1892) ●



**REVIEW  
OF A BOOK 276**

*Market transport economics as a legal discipline.*



**NEWLY RELEASED  
TRANSPORT JOURNALS 280**

*Review of publications of the OSJD Bulletin in the first half of 2022.*

**BIBLIO-DIRECTIONS**

**SELECTED ABSTRACTS  
OF D.SC. AND PH.D.  
THESES 284**

- Stress-strain state and equilibrium stability of cylindrical shells.
- Increasing the resource of the wheel-rail pair through the rational selection of material properties.
- Automated subsystem for diagnosing electrical equipment of frequency converters.
- Automation of management of transportation of liquefied natural gas by sea.
- Qualitative analysis of the characteristic features of the behaviour of hydrodynamic and nonholonomic systems with periodic controls based on finite-dimensional models.



**NEW BOOKS  
ON TRANSPORT  
AND TRANSPORTATION 292**

*Newly published books and texts on transport topics.*



# Legal Regulation of a Market Transport Economics as a Legal Discipline



**Elena G. Bagreeva**

*Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia.*

✉ [bagreg@yandex.ru](mailto:bagreg@yandex.ru).

Elena G. BAGREEVA

Artamonova, S. N., Borisova, S. V., Gots, E. V. [et al]. Legal regulation of the market economics (on the example of the transport industry): Textbook [Pravovoe regulirovanie rynochnoi ekonomiki (na primere transportnoi otrasli): Uchebnik]. Ed. by A. I. Zemlin. Moscow, KnoRus publ., 2023, 690 p. ISBN 978-5-406-10740-9.

## ABSTRACT

The article is a review of the textbook «Legal regulation of the market economics (on the example of the transport industry)» for students of transport universities studying in master's programs, prepared by the team of the Department of Transport Law of the Law Institute of Russian University of

Transport under the general editorship of the Honoured Scientist of the Russian Federation, D.Sc. (Law), professor A. I. Zemlin. The author notes not only the relevance of topics in the content of the textbook, but also multidimensionality of their coverage: from theoretical aspects to the practices of their implementation. The depth of the scientific approach, demonstrated by the authors, ensures a complete and comprehensive assimilation of the material, ensuring practical significance and potential relevance of the textbook. The authors managed to determine the optimal amount of sufficiency of didactic material in the textbook for formation of legal competencies among highly qualified specialists in the field of transport, as well as employees of public agencies and corporate governance bodies, necessary for successful performance of their duties in the market economy.

Keywords: market economy, transport, law, legislation, education, students, legal support.

*For citation:* Bagreeva, E. G. Legal Regulation of a Market Transport Economics as a Legal Discipline. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 4 (101), pp. 276–279. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-13>.

*The text of the review article originally written in Russian is published in the first part of the issue.  
Текст статьи-рецензии на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.*

The events currently taking place in the world are associated with a rethinking of goals and objectives of development of states, the role of society, state and law, the state of modern international relations, economic, social, and legal problems. New dangers and threats to sustainable development of the state as a whole, and the transport system in particular, are of great interest to many domestic lawyers [1–8].

The successful functioning of the transport system involves not only the knowledge of its subjects of regulatory legal acts, but also practical organization of measures to ensure safety of the transport infrastructure based on doctrinal approaches, a set of medical and medical and social measures aimed at reducing the risk of emergencies, minimizing medical and sanitary consequences and preservation of people's health [9; 10], fulfilment of international legal obligations of our state in the transport sector, reduction of environmental damage [11; 12] and much more.

The formation and systematic improvement of professional competencies among highly qualified transport specialists that allow them to carry out legitimate management actions is an important task [13; 14], especially in a market economy. The ability of graduates to accurately qualify offenses, to strictly ensure implementation of norms of special, including transport, legislation in the process of project activities, to manage production, technological, and logistics processes, to solve other professional tasks based on understanding the essence of legal phenomena and processes, problems of legal regulation of activities in transport, is predetermined by the needs of implementation of the tasks set by the Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035.

Taking into account the need for specific specialists in transport, as well as based on their own earlier scientific research and educational literature [15–18], a team of scientists – representatives of the scientific school «Transport Law», created and functioning at the Law Institute of Russian University of Transport, set an ambitious task is to fill the lack of educational literature necessary for teaching students of transport educational organizations studying in master's programs, as well as students of retraining programs for disciplines related to the legal support of professional activity in a market economy. A highly professional team of authors headed by the Honoured Scientist of the Russian Federation, D.Sc. (Law), Professor Alexander I. Zemlin, having determined the sufficiency of the material, successfully coped with the tasks set, preparing the textbook «Legal regulation of the market economics (on the example of the transport industry)» [19].

The textbook in a systematic form presents the material of the course «Issues of legal regulation of property relations in the field of transport», taught to students of transport universities enrolled in the

master's program 40.04.01 Law, profile «Legal foundations of state and corporate management of the digital economy and transport», and as well as an additional professional retraining program «Legal regulation of the market economy», implemented by specialists in the field of transport management.

I note with satisfaction that the content of the educational publication fully complies with the qualification requirements for the positions of specialists established in the Qualification Directory for the Positions of Managers, Specialists and Other Employees, approved by the Decree of the Ministry of Labour of Russia of 21.08.1998 No. 37 (as amended by the Decree of the Ministry of Labour of Russia of 21.01.2000 No. 7), as well as the requirements of the Federal State Educational Standard of Higher Education in the field of study 40.04.01 «Jurisprudence», approved by order of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation of November 25, 2020 No. 1451.

It should be noted that when forming the structure and content of the textbook, the authors considered the needs of transport specialists in obtaining legal knowledge in all areas of practical activity. In particular, the textbook includes didactic blocks that reflect problematic issues:

- Legal regulation of public administration in the field of market economy.
- Application of international private law in a market economy and the law of international transportation.
- Administrative-legal and private law regulation in the field of transport.
- Regulation of relations «employee–employer» in a market economy.
- Ways and forms of protection of property and non-property rights of economic entities.
- Financial and legal support for development of the Russian transport system.
- Legal support of legality, protection and protection of the rights of participants in transport relations.

Implementing the provisions of the above-mentioned Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035, the authors of the textbook paid special attention to the issues of legal regulation of transport relations and financial and legal support for functioning of the transport system in the long term.

It is also worth emphasizing the efficiency of the team of authors: based on the task set by the Minister of Transport of the Russian Federation for the Russian University of Transport to perform the function of a basic industry university, a centre for educational and methodological work, a peer-reviewed textbook was prepared at a high professional level in a short time. Dr. Alexander I. Zemlin, being editor, inspired a team of like-minded people – teachers of the department, leaders and teachers of other departments of the Law



Institute of RUT, specialists – practitioners, experts and scientific and pedagogical workers of educational organizations to prepare the necessary textbook.

I am convinced that the textbook material will become a basis for all transport educational organizations and will ensure development of a unified approach to the content and methodology for formation of law-significant competencies among students and listeners of additional professional education programs implemented by transport educational organizations. In addition, the content of the textbook will make it possible to implement project-based and practice-oriented approaches in teaching, which will most effectively affect fulfilment of the tasks set by the Transport Strategy of the Russian Federation, fulfilment of the mission and achievement of the strategic goal of the university in accordance with the Development Program of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Russian University of Transport» in within the framework of the program of strategic academic leadership «Priority-2030» [20–22].

The publication of the textbook will contribute to formation of the legal culture of transport specialists, which is the most important component of their professional culture [23, p. 403], which, as follows from the results of the historical and legal analysis of sources, has traditionally been given significant attention since the establishment of the Imperial Moscow Engineering School [24, p. 261; 25, p. 248], the traditions of which are continued by Russian University of Transport.

The publication under review successfully fits into the impressive array of textbooks prepared by representatives of the scientific school «Transport Law» in order to provide high-quality didactic material to students of transport universities [26–32, etc.].

The material contained in the textbook is presented in an accessible form, takes into account and reflects current trends in dynamically developing Russian legislation, including transport legislation; recent changes in regulatory legal acts regulating the market economy.

The textbook «Legal regulation of the market economy (on the example of the transport industry)» fully complies with the federal state educational standard, is written in an accessible, competent legal language, and, no doubt, will be in demand not only by students of transport universities, graduate students, scientific and pedagogical and practical workers, but also by a wide range of people interested in the issues of legal regulation of modern market relations in transport.

## REFERENCES

1. Zemlin, A. I., Kozlov, V. V. Life safety for transport specialties: counteraction to terrorism in transport. Tutorial [Bezopasnost zhiznedeyatel'nosti dlya transportnykh spetsialnostei: protivodeistvie terrorizmu na transporte.

*Uchebnoe posobie*]. Moscow, Yurait publ., 2020, 156 p. ISBN 9785534140446.

2. Kholikov, I. V. International legal aspects of countering modern security threats [Mezhdunarodno-pravovye aspekty protivodeistviya sovremennym ugrozam bezopasnosti]. Proceedings of 3<sup>rd</sup> All-Russian scientific and practical conference of students, Ph.D. students and young scientists, Orenburg State University, March 22–24, 2017. Ufa, LLC First Printing House, 2017, pp. 5–14. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41316162&pf=1>. Last accessed 22.09.2022.

3. Holikov, I. V. Theoretical-legal aspects of international cooperation in the field of resistance to economic security threats. *Obrazovanie. Nauka. Nauchnye kadry*, 2012, Iss. 4, pp. 29–31. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17898557>. Last accessed 22.09.2022.

4. Kholikov, I. V. The spread of epidemics, pandemics and mass diseases as a global challenge of our time [Rasprostraneniye epidemii, pandemii i massovykh zabolevaniy kak globalniy vyzov sovremennosti]. *Puti k miru i bezopasnosti*, 2020, Iss. 2 (59), pp. 27–40. DOI: 10.20542/2307-1494-2020-2-27-40.

5. Zemlin, A., Kholikov, I., Mamedova, I. Current Issues of Metro Safety Technical Regulations. In: Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Scientific Conference on Architecture and Construction 2020. Lecture Notes in Civil Engineering. Springer, Singapore, 2021, Vol. 130, pp. 236–247. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-981-33-6208-6\\_24](https://doi.org/10.1007/978-981-33-6208-6_24).

6. Chernogor, N. N., Zemlin, A. I., Kholikov, I. V., Mamedova, I. A. Impact of the Spread of Epidemics, Pandemics and Mass Diseases on Economic Security of Transport. *E3S Web of Conferences*, 2020, Vol. 203, art. 05019. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020305019>.

7. Zemlin, A., Kholikov, I., Mamedova, I., Zemlina, O. Problems of Ensuring Security of Transport Infrastructure Facilities. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, Vol. 666, pp. 042002. DOI: 10.1088/1755-1315/666/4/042002.

8. Kholikov, I. V., Okocha, V. A. The use of armed force by private maritime security companies: dynamics of boundaries and specifics of legal regulation in the modern world. *Zhurnal rossiiskogo prava*, 2020, Iss. 12, pp. 147–158. DOI: 10.12737/jrl.2020.154.

9. Kholikov, I. V. International legal aspects of implementation of the Transport Strategy of the Russian Federation in the field of medical support in transport [Mezhdunarodno-pravovye aspekty realizatsii Transportnoi strategii Rossiiskoi Federatsii v sfere meditsinskogo obespecheniya na transporte]. *Transportnoe pravo i bezopasnost*, 2018, Iss. 4 (28), pp. 93–99. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36782509>. Last accessed 22.09.2022.

10. Klyonov, M. V., Kholikov, I. V. Legal and Organization Issues of Transport Occupational Health and Medical Assistance to Passengers in Russian Federation. *World of Transport and Transportation*, 2019, Vol. 17, Iss. 3, pp. 180–191. DOI: 10.30932/1992-3252-2019-17-3-180-191.

11. Bagreeva, E. G., Shamsunov, S. K., Zemlin, A. I. Environmental Safety Conditions in the Transport Sector by Improving the Culture of Lawmaking. *Ekoloji*, 2019, T. 28, No. 107, pp. 4071–4076. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38665656>. Last accessed 22.09.2022.

12. Bagreeva, E. G., Zemlin, A. I., Shamsunov, S. K. Does Environmental Safety Depend Upon the Legal Culture of Transport Specialists? *Ekoloji*, 2019, T. 28, No. 107, pp. 4961–4965. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41714699>. Last accessed 22.09.2022.

13. Kholikov, I. V. Legal Knowledge for Future Transport Employees. *World of Transport and Transportation*, 2020, Vol. 18, Iss. 1, pp. 260–264. DOI: 10.30932/1992-3252-2020-18-260-264.

14. Kholikov, I. V. Law and Transport: Continuing the Topic. *World of Transport and Transportation*, 2020, Vol. 18, Iss. 4, pp. 246–253. DOI: 10.30932/1992-3252-2020-18-246-253.

15. Gruver, N. V., Zemlin, A. I., Kholikov, I. V. Legal problems and organizational and pedagogical conditions for implementation of the integration potential of volunteering in the process of training specialists in the field of jurisprudence: Monograph [*Pravovie problemy i organizatsionno-pedagogicheskie usloviya realizatsii integratsionnogo potentsiala volonterskoi deyatel'nosti v protsesse podgotovki spetsialistov v oblasti yurisprudentsii*]. Moscow, Rusayns publ., 2021, 264 p. ISBN 978-5-4365-6596-5.

16. Artamonova, S. N., Rasulov, A. V., Pishchelko, A. V. [et al.]. Legal support of professional activity (for students of transport universities): Textbook [*Pravovoe obespechenie professionalnoi deyatel'nosti (dlya studentov transportnykh vuzov: Uchebnik)*]. Ser. 76 Higher education (1<sup>st</sup> ed.). Moscow, Yurait publ., 2020, 398 p. ISBN 9785534136555.

17. Zemlin, A. I., Zemlina, O. M., Klenov, M. V. [et al.]. Organizational and legal foundations for functioning of the transport system in a difficult epidemiological situation: Textbook [*Organizatsionno-pravovie osnovy funktsionirovaniya transportnoi sistemy v usloviyakh slozhnoi epidemiologicheskoi obstanovki: Uchebnik*]. Chief ed. A. I. Zemlin, I. V. Kholikov. Moscow, Rusayns publ., 2020, 310 p. ISBN 978-5-4365-6523-1.

18. Gruver, N. V., Zemlin, A. I., Zemlina, O. M., Klenov, M. V., Kholikov, I. V. Legal and organizational foundations of voluntary (volunteer) activity: Textbook [*Pravovie i organizatsionnye osnovy dobrovolcheskoi (volonterskoi) deyatel'nosti: Uchebnik*]. Team of authors; ed. by A. I. Zemlin. Moscow, KnoRus publ., 2021, 156 p. ISBN 978-5-406-08761-9.

19. Legal regulation of the market economy (on the example of the transport industry): Textbook [*Pravovoe regulirovanie rynochnoi ekonomiki (na primere transportnoi otrasli): Uchebnik*]. Team of authors; ed. by A. I. Zemlin. Moscow, KnoRus publ., 2023, 690 p. ISBN 978-5-406-10740-9.

20. Zemlin, A. I. Formation of the legal culture of a specialist in transport as a condition for the implementation of the transport strategy and the achievement of national goals of socio-economic development of Russia. In: *Transport security and countering terrorism in transport: legal and organizational aspects. II International Scientific Forum. Russian University of Transport, Law Institute*. Moscow, Russian University of Transport, 2021, pp. 21–28. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47471414>. Last accessed 22.09.2022.

21. Zemlin, A. I. Current organizational and legal issues continuing professional education of transport security forces. *Obrazovanie i pravo*, 2020, Iss. 9, pp. 399–408. DOI: 10.24411/2076-1503-2020-10963.

22. Nesterov, E. A. Expected future development of the Law Institute of the Russian University of Transport. *Transportnoe pravo i bezopasnost*, 2021, Iss. 3 (39), pp. 13–21. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46670534>. Last accessed 22.09.2022.

23. Zemlin, A. I., Kholikov, I. V. Axiological approaches to formation of the legal culture of a transport specialist in modern conditions [*Aksiologicheskie podkhody k formirovaniyu pravovoi kultury spetsialista-transportnika v*

*sovremennykh usloviyakh*]. Collection of scientific works of IZISP «Legal values in the light of new paradigms of development of modern civilization». Moscow, Infra-M publ., 2020, pp. 403–411. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44306755>. Last accessed 22.09.2022.

24. Petrov, Yu. I., Zemlin, A. I., Zemlina, O. M. The Genesis of the System of Administration of the Transport Routes and of the Transport Law in Russia (9<sup>th</sup> to 18<sup>th</sup> centuries). *World of Transport and Transportation*, 2019, Vol. 17, Iss. 3 (82), pp. 260–277. DOI: 10.30932/1992-3252-2019-17-3-260-277.

25. Zemlin, A. I., Petrov, Yu. I. Experience of Legal Regulation and Organization of Transport Specialists Training at the Imperial Moscow Engineering School: 1896–1913. *Herald of an archivist*, 2021, Iss. 1, pp. 248–258. DOI: 10.28995/2073-0101-2021-1-248-258.

26. Filippova, M. Yu., Rasulov, A. V., Pishchelko, A. V., Zemlin, A. I. [et al.]. Transport Law: Textbook [*Transportnoe pravo: Uchebnik*]. Chief ed. by A. I. Zemlin. Ser. 73 Bachelor and Specialist (2<sup>nd</sup> ed., rev. and enl.). Moscow, Yurait publ., 2019, 381 p. ISBN 9785534108453.

27. Zemlin, A. I., Kozlov, V. V. Life safety for transport specialties: countering terrorism in transport: Study guide [*Bezopasnost zhiznedeyatel'nosti dlya transportnykh spetsialnostei: protivodeistvie terrorizmu na transporte: Uchebnoe posobie*]. Ser. 68 Vocational Education (1<sup>st</sup> ed.). Moscow, Yurait publ., 2020, 156 p. ISBN 9785534140446.

28. Artamonova, S. N., Zemlin, A. I. [et al.]. Legal support of professional activity (for students of transport universities): Textbook [*Pravovoe obespechenie professionalnoi deyatel'nosti (dlya studentov transportnykh vuzov): Uchebnik*]. Ser. 76 Higher Education (1<sup>st</sup> ed.). Moscow, Yurait publ., 2020, 397 p. ISBN 978-5-534-13655-5.

29. Artamonova, S. N., Gots, E. V., Zemlin, A. I. [et al.]. Legal support of professional activity for transport specialties: Textbook [*Pravovoe obespechenie professionalnoi deyatel'nosti dlya transportnykh spetsialnostei: Uchebnik*]. Chief ed. A. I. Zemlin. Ser. 68 Vocational education. Moscow, Yurait publ., 2020, 398 p. ISBN 9785534136555.

30. Artamonova, S. N., Gots, E. V., Zemlin, A. I. [et al.]. Legal support of professional activity (for students of transport universities): Textbook [*Pravovoe obespechenie professionalnoi deyatel'nosti (dlya studentov transportnykh vuzov): Uchebnik*]. Chief ed. A. I. Zemlin. Ser. 76 Higher Education (1<sup>st</sup> ed.). Moscow, Yurait publ., 2021, 397 p. ISBN 978-5-534-13655-5.

31. Artamonova, S. N., Gots, E. V., Zemlin, A. I. [et al.]. Legal support of professional activity in transport for colleges: Textbook [*Pravovoe obespechenie professionalnoi deyatel'nosti na transporte dlya kolledzhei: Uchebnik*]. Chief ed. A. I. Zemlin. Ser. 68 Vocational education. Moscow, Yurait publ., 2021, 254 p. ISBN 978-5-534-14241-9.

32. Artamonova, S. N., Gots, E. V., Zemlin, A. I. [et al.]. Legal culture: Textbook [*Pravovaya kultura: Uchebnik*]. Chief ed. A. I. Zemlin. Moscow, Yurait publ., 2022, 522 p. ISBN 978-5-534-15223-4.

33. Artamonova, S. N., Gots, E. V. [et al.]. Actual problems of legal regulation and organization of control and supervisory activities: Textbook [*Aktualnye problemy pravovogo regulirovaniya i organizatsii kontrolno-nadzornoi deyatel'nosti: Uchebnik*]. Ed. by A. I. Zemlin. Moscow, KnoRus publ., 2023, 590 p. ISBN 978-5-406-10620-4 (in print).

Information about the author:

**Bagreeva, Elena G.**, D.Sc. (Law), Professor, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia, [bagreg@yandex.ru](mailto:bagreg@yandex.ru).

Article received 05.09.2022, accepted 22.09.2022.





# Materials of OSJD Bulletin Published in the First Half of 2022



*Even though the main event of the first half of 2022 for Bulletin of Organization for Cooperation between Railways was its 65<sup>th</sup> anniversary, OSJD Bulletin continued to publish materials on the most significant events in the life of the organization, which will undoubtedly be of interest to readers of World of Transport and Transportation. With the consent of the editors of OSJD Bulletin, we reproduce the content of a number of materials published in its issue 1–2 for 2022.*

**Keywords:** OSJD, OSJD Bulletin, railways.

**T**he double issue 1–2 of OSJD Bulletin traditionally publishes articles and information about the activities of OSJD and the member countries of the organisation.

Thus, a material was published on the transport complex of Turkmenistan, which notes that this country continues large-scale implementation of projects for the construction and development of transport infrastructure facilities to further strengthen and improve the integrated transport system of the country and its integration into the international transport network of the region and of the Eurasian space as a whole for further economic prosperity.

The implementation of the main and most impressive projects in this area is described in an article provided by the Transport and Communications Agency under the Cabinet of Ministers of Turkmenistan.

The information of Chengdu Railway Corporation of China State Railway Corporation on work progress in adding the railway

consignment note with a function of a document of title is published.

The Chengdu Railway Corporation is one of 18 regional subsidiaries of China State Railway Corporation, which manages the railways of Sichuan, Guizhou and Chongqing. The operational length of railway lines on its territory is about 10 thousand kilometres. It ranks first in terms of freight and passenger traffic in the western part of China's railway network.

The Chengdu Railway Corporation carries out railway transportation of goods as part of container trains in the China–Europe traffic, departing from the city of Chongqing and the city of Chengdu (the administrative centre of Sichuan Province). By the number of container trains sent from these two cities, it ranks first in China. In 2020, the company organized and sent more than 4700 container trains, which is about 40 % of the total number of container trains in the China–Europe traffic.

Since 2018, in cooperation with airway and waterway transport companies, as well as large

*For citation:* Materials of OSJD Bulletin in the First Half of 2022. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 4 (101), pp. 280–283. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-20-4-14>.

*The text of the editorial article in Russian is published in the first part of the issue.*

*Текст редакционной статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.*

commercial banks, the Chengdu Railway Corporation has begun to implement innovative projects to add the SMGS consignment note and CIM consignment note with the function of a document of title. Within the framework of pilot projects, a total of 10 shipments were organized, the total value of the transported goods exceeded 400 million Chinese yuan.

In the material about new passenger rolling stock for Azerbaijan railways, prepared by the deputy head of the department for passenger transportation of AZD CJSC H. Mamedov, head of passenger transportation organisation section T. Badalova, specialist of the OSJD Commission on Infrastructure and Rolling Stock, Representative of the Republic of Azerbaijan at the OSJD Committee A. Shurganova it is noted that 2015 marked the beginning of a new era in the development of railway transport structure of the Republic of Azerbaijan, with the Azerbaijani Railways CJSC gradual transformation into the most dynamically developing company in the region. The railway personnel, focusing on new achievements, carry out successful transformations in the country's railway sector, using the most modern technologies. It goes not only about the transfer of power supply from direct to alternating current, the purchase of new signalling and communication systems, the improvement of the railway infrastructure, but also about the implementation of large-scale and systematic work to comprehensively improve passenger comfort.

Considering the social policy pursued by the state, which is aimed, in particular, at transformation of the passenger railway transportation sector, the Azerbaijani Railways CJSC have procured modern comfortable trains from the Swiss company Stadler Rail Group. Thus, the reforms have been launched with the implementation of all others of the concept of fast-speed passenger trains and the improvement of service provided at the railway stations. Such rolling stock also includes KISS double-decker electric trains (EMU) capable of running at speeds of up to 160 km/h.

The innovative and comfortable EŞ2 EMU represents a series double-decker electric train as an outstanding example of the Stadler KISS family, featuring a larger and wider body, painted in white colour with a black horizontal stripe on the sides between the rows of windows and gray stripes in the window area, while the doors and the black horizontal stripe edging are dark golden.

The material is published about the meeting, held on January 25, 2022 in the OSJD Committee premises of the three OSJD Committee Chairmen who held this post at different times: Mirosław Antonowicz (from 2020 to the present), Tadeusz Szozda (from 1998 to 2020) and Andrzej Golaszewski (from 1990 to 1998).

The leaders of various generations discussed the issues of continuity in the OSJD activities, the possibilities of maintaining the general guide line of OSJD in order to fulfil the tasks set in a dynamically changing situation in the world, including the restrictions associated with the pandemic.

The information message of Shukhrat Kayumkhodjaev, Chairman of the OSJD Commission on Transport Policy and Development Strategy is published about the 60<sup>th</sup> meeting of the OSJD-ERA Contact Group, held from 25 to 27 January 2022, on the subject «Collaboration between ERA and OSJD on the analysis of the relationship 1520-mm/1524-mm and 1435-mm rail systems of EU and non-EU states».

During the meeting, the following agenda items were considered:

- Progress of work on updating the analysis of the subsystems «Locomotives and multi-unit rolling stock» and «Passenger coaches».
- Progress of work on updating the analysis of the subsystem «Infrastructure. Tracks and track facilities».
- Exchange of relevant information and practical experience in order to coordinate measures for maintaining and improving the existing technical and operational compatibility and unimpeded international railway traffic (including cross-border traffic and traffic safety), etc.

The issue also contains the information message of specialist of the OSJD Commission for Transport Policy and Development Strategy Aian Mamytov about the expert meeting of the OSJD Commission on Transport Policy and Development Strategy on the subject «Directions for the strategic development of railway transport in the OSJD member countries», which was held on 16–18 February 2022 in the OSJD Committee.

The meeting agenda included the following items:

- Study of the directions for the strategic development of railway transport in the OSJD member countries and preparation of proposals on general approaches and tasks for the strategic development of railway transport.



- Studying the experience and analysis of reforms in the railway transport of the OSJD member countries with the publication of information on the OSJD Website.

- Preparation and publication of an information collection on ongoing structural reforms of railway transport in the OSJD member countries.

- Consideration of the progress of the work of the OSJD/ERA Contact Group on the interaction of 1520-mm/1435-mm gauge railway systems.

- Preparation and approval of the draft Work Plan and Work Program of the OSJD Commission on Transport Policy and Development Strategy.

The meeting participants listened to the presentations and speeches delivered by the representatives from Hungary, Republic of Lithuania, Russian Federation dedicated to the directions for the strategic development of railway transport in their countries, and also took into account the information of the People's Republic of China provided to the OSJD Committee, on the basis of which they held a discussion and exchanged experience and opinions on the issues of key strategic directions for the development of railway transport in the OSJD member countries.

In the information message Radovan Vopalecky Chairman of the OSJD Commission on Infrastructure and Rolling Stock noted the results of the regular meeting of the Joint Working Group (JWG) for reviewing and converting the OSJD/UIC international technical solutions in the field of railway transport, which was held from 15 till 17 February 2022.

As part of the agenda, the meeting considered the following items:

- Information of the JWG Chairman relating to the outcomes in the implementation of the decisions of the OSJD/UIC Joint Working Group meeting for reviewing and converting the OSJD/UIC joint leaflets into draft OSJD/UIC international railway solutions (IRS) (21–23 September 2021).

- Progress of work for the formation of the draft IRS solution «Transportation of unconventional goods in international railway traffic» taking into account the comments received from the railways;

- Discussion of UIC proposals on the draft OSJD/UIC joint work program in the field of joint IRS developing and others.

As it is noted in the information message of Zubaida Aspayeva, chairperson of the OSJD Commission on Freight Traffic, as of 22–25 March 2022: a meeting was held to consider the

topics «Updating the Harmonized Nomenclature of Goods (GNG)» and «Updating the Catalogue of Freight Stations of the OSJD Railways».

It is reported about holding on 18 February 2022 of a consultative meeting of representatives of the OSJD Committee and the OTIF Secretariat. Opening the meeting, Chairman of the OSJD Committee Miroslaw Antonowicz and Secretary General of OTIF Wolfgang Küpper welcomed the participants and expressed the opinion that these cyclical meetings shall be continued in the future, which would result in further successful cooperation expansion between OSJD and OTIF and would be expressed in real positive results in the work towards the unification and harmonization of transport law aimed to ensure international railway transport in the Eurasian area.

The journal contains the material about the intention of Laos to become a member of OSJD, in which it is noted that in accordance with the decision of the Government of the Lao People's Democratic Republic, adopted on 24 March 2022, the Ministry of Public Works and Transport of the Lao People's Democratic Republic, which is in charge of the Lao Railways, sent a letter to the OSJD Committee with an official request to admit the LPDR to the Organisation of Co-Operation between Railways. The letter was signed by the Minister of Public Works and Transport of the Lao PDR, Mr. Viengsavath Siphandone.

In this letter, the Ministry of Public Works and Transport also expressed its intention to become a Party to the Agreement on International Passenger Traffic (SMPS) and the Agreement on International Freight Traffic by Rail (SMGS) to ensure the smooth transport of passengers and goods in the international railway traffic.

In accordance with the OSJD procedures, the issue of joining the Lao PDR will be considered by the governing bodies of OSJD, and the final decision on this issue is to be taken within the framework of the OSJD Ministerial Conference session.

For reference it is reported that the Lao People's Democratic Republic is situated in South-East Asia on the Indochinese Peninsula. It borders on Thailand, Vietnam, Cambodia, China and Myanmar. Laos is a landlocked country having no direct access to the sea, so the development of railways and international railway traffic are of paramount importance for it.

The overall operational length of the railway lines of Laos amounts to 425,94 km, of which:

- Vientiane–Boten Railway (with a track gauge of 1435 mm) – 422,44 km.
- Vientiane–Thanaleng Railway (with a track gauge of 1000 mm) – 3,5 km

As it is clearly seen, the length of the railway section from the Boten border station on the China-Laos boundary to the capital of Laos, Vientiane, is about 422 km, while the total length of the Kunming (China)–Vientiane (Laos) railway line is 1035 km. The construction of the railway line was carried out on the basis of the Chinese technologies and engineer standards. In total, 167 tunnels have been laid along the route of the line and a large number of bridges and viaducts built.

The railway is subdivided into two sections: Chinese and Laotian. The construction of the Laotian section from the border town of Boten to Vientiane began in December 2016, while the construction of the Chinese section from Yuxi to the border town of Mohan began in December 2015.

With a maximum operational speed of 160 km/h, the entire journey with border clearance procedures takes about 10 hours. This route provides for the transportation of both passengers and goods. The commissioning of the new line has made it possible to switch a significant part of export goods onto the railway and reduce the transportation costs. According to the preliminary calculations, at the initial stage, 300,000 containers will be transported annually along the new railway line from Laos to Europe through China, and in the future, the freight flow may increase to 1,2–1,8 million containers per year.

Already in the first two and a half months since the start of the China–Laos railway operation, more than 1 million passengers and 500 thousand tons of goods have been transported on it, while 100 thousand tons of the total volume of transported goods have been carried in international traffic.

In another information message prepared by Mirosław Antonowicz, Chairman of the OSJD Committee, and Angelina Shurganova, Specialist of the OSJD Commission on Infrastructure and Rolling Stock, it is noted that major railway institute in Poland marked its 70<sup>th</sup> anniversary. On 15 March 2022 the Jubilee Scientific Conference was held, dedicated to the 70<sup>th</sup> anniversary of the Railway Research Institute and the 25<sup>th</sup> anniversary of the Test Track Operation Centre.



*Map of the new railway line China–Laos.*

One of the materials of the issue is dedicated to the international scientific and practical conference «Innovations for Sustainable Development. Development of Human Capital», which was held on 5 April 2022 at the CCTT Secretariat in Moscow.

This event was organized by the International Coordinating Council for Trans-Eurasian Transportation (CCTT), Russian University of Transport (RUT (MIIT)) (an OSJD affiliated enterprise) and the Association of Transport Higher Schools. The conference was attended by more than 250 representatives of transport, logistics, forwarding companies and associations, educational and research institutions in the field of transport from the Republic of Azerbaijan, Republic of Belarus, People's Republic of China, Mongolia, Russian Federation and other countries, experts and specialists from the United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (UNESCAP), Organization for Co-Operation between Railways (OSJD).

Another information message is dedicated to the IX Specialized Railway Safety Forum 2022, organized by the Polish Office of Rail Transport together with the company Tor-Andytor, held on 17 March 2022 in Warsaw.

Among the forum participants were representatives of the companies – infrastructure managers, operators and carriers, specialists in the field of maintenance and repair, as well as in the field of ensuring of safety in railway traffic management.



*The text in Russian is published  
in the first part of the issue.*

*Текст на русском языке публикуется  
в первой части данного выпуска.*

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-15>  
World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 4 (101), pp. 284–292

**Akulich, V. Yu. Stress-strain state and equilibrium stability of cylindrical shells under elastic and elastic-plastic deformations, including those interacting with the surrounding base, considering the change in the calculation model in time. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie i ustoichivost ravnovesiya tsilindricheskikh obolochek pri uprugikh i uprugo-plasticheskikh deformatsiyakh, v tom chisel vzaimodeistviyushchikh s okruzhayushchim osnovaniem, s uchetom izmeneniya raschetnoi modeli vo vremeni. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk]. Moscow, RUT publ., 2021, 24 p.**

Thin-walled elements – shells are widely used in modern building structures. They are used in transport, industrial and civil construction in construction of towers, supports, tanks, vaults, tunnels, etc.

Shells have several advantages: they are able to effectively absorb the applied load due to their geometric shape, they are aesthetic and preferable from an architectural point of view.

Shell elements play a special role in underground structures, where cylindrical and other vaulted surfaces are often used. With a fairly broad study of the features of operation of cylindrical shells, questions remain regarding taking into account the influence of the contact interaction between the shell and the base, nonlinearity of ongoing processes, and the change in the stress-strain state (SSS) of the shell during its installation, which does not allow us to give a real assessment of SSS and stability of such structures from the start of construction work to its completion. This predetermines the relevance of the research topic on the development of

methods for calculating the strength, stability and rigidity of shells interacting with the surrounding base.

The objective of the thesis work is to develop and develop methods for calculating and analysing the stress-strain state of cylindrical shells interacting with the surrounding base, in planar and spatial formulations of problems.

The scientific novelty of the study lies in assessment of SSS and stability of cylindrical shells, considering the interaction with the surrounding base and the stages of construction, namely:

1. Finite element models of the «cylindrical shell–surrounding base» system are built, which change in time, taking into account the gap between the shell and the base at the construction stage using one-way contact interaction and the physical nonlinearity of materials.

2. The dimensions of the spatial fragment of the system «cylindrical shell–surrounding base» are determined, which are necessary to obtain reliable results of calculating the settlement of the upper surface of the base.

3. An algorithm for estimating SSS and stability of the «cylindrical shell–surrounding base» system has been developed and implemented.

4. PCL program in the PATRAN software package for automating the process of creating a solid-state design model of the «cylindrical shell–surrounding base» system with the ability to take into account the construction gap between the shell and the base with one-sided contact interaction.

To solve the problems posed in the thesis work, the finite element method in displacements was applied, including construction of computational models of the systems under consideration, their numerical linear and geometrically, physically and constructively nonlinear analysis. To take into account development of plastic deformations of materials, the theory of plastic flow with the Mohr–Coulomb and Drucker–Prager plasticity criteria is used.

The generalized results of the conducted studies are as follows.

A numerical method has been developed for taking into account the construction gap between

the cylindrical shell and the surrounding base, based on spatial calculation models using two methods for creating a gap that allow taking into account the «lost volume» of soil from operation of a mechanized tunnel boring complex. The calculation models are compared with each other and with the known semi-empirical method. The best results were shown by the model with contact elements approximating the gap in calculations to determine the settlement of the surface of the array both in the transverse and longitudinal directions to the shell axis.

The dimensions of the spatial fragment of the array are determined, which are necessary to obtain reliable results of calculating the settlement of the upper surface in the transverse and longitudinal directions to the axis of the shell according to the developed calculation models that take into account the gap. Taking into account the results of calculations of the SSS of the system, it can be recommended in practical calculations to determine the settlement of the surface of the array in the transverse direction to the shell axis to take the distance  $L$  from the edge of the shell to the side ends of the array (in the transverse direction), satisfying the condition  $L \geq 5D$ , where  $D$  is the diameter of the shell. When determining the settlement of the surface of the array in the longitudinal direction to the axis of the shell, it can be recommended to take the distance  $L$  from the edge of the shell to the ends of the array (in the longitudinal direction), which also satisfies the condition  $L \geq 5D$ .

A program has been developed to automate the process of creating a solid-state computational model of a cylindrical shell, the surrounding array and contact elements of the gap in the PCL command language, which is part of the MSC PATRAN system.

A practical problem has been solved to determine the subsidence trough of a section of the earth's surface with operated railway tracks of Moscow Railway, located within the zone of influence of the construction of the planned distillation tunnels of Kalininsko-Solntsevskaya line of Moscow Metro from Ramenki metro station to Rasskazovka metro station. The results obtained are compared with geodetic monitoring data.

A technique has been developed and implemented based on spatial computational models that change over time, allowing to consider a different number of stages in construction of cylindrical shells interacting with the surrounding base. The models consider one-way contact interaction, building gap and physical non-linearity of materials. The influence of considering the phased erection of a structure on the stress-strain state of a cylindrical shell of finite dimensions interacting with the surrounding base is studied using numerical methods. It has been established that the values of internal forces in the body of a cylindrical shell strongly depend on the number of stages in the design case. Based on the results obtained, it is recommended to take 8 or more design stages of shell construction in practical calculations.

It has been established that considering the friction coefficient in staged design cases significantly reduces the maximum stresses in the cylindrical shell. It is shown that introduction of the elastic-plastic model of the material for the shell into the calculation also significantly reduces the magnitude of maximum stresses.

The features of the SSS of a system consisting of two parallel cylindrical shells and the surrounding base are determined, namely: the influence exerted on the first shell by the gradual construction of the second nearby shell is determined. The results obtained showed that this effect is generally insignificant and the stress increase for all considered rings of the first shell did not exceed 7,8 %, except for the last ring, where the stress increase was 116,8 %.

A technique and algorithm for obtaining critical loads and forms of buckling of a cylindrical shell for various models of materials and conditions of contact interaction with the surrounding base have been developed and implemented. Rod, flat and spatial models of the «shell-base» system were compiled. Spatial calculation schemes are built with and without considering the coefficient of friction between the shell and the base, as well as within the framework of linear elastic and elastic-plastic models of materials. A numerical analysis of the system was carried out to determine the critical load at which the shell structure interacting with the surrounding base loses its equilibrium



stability, and the forms of buckling in linear and nonlinear design cases, followed by a comparative analysis of the results.

It has been established that in calculations for stability at large displacements of the system, a nonlinear calculation by step-by-step application of a load and an iterative procedure makes it possible to find zones of absence of element contact (the area of shell detachment from the base) and to determine the position of the shell that changes in time, which excludes overestimated values of the critical load obtained at linear calculation when the displacements are small. It is also determined that considering the coefficient of friction provides better joint operation of the shell and the surrounding base and allows obtaining slightly higher values of the critical load, both with a linear elastic model of the material and with an elastic-plastic one.

Numerical analysis of the spatial system «shell–base» in the case of inhomogeneous physical and mechanical properties of the base along the longitudinal axis of the cylindrical shell found that the loss of stability of the shell occurs in the area of the weaker base.

#### 2.1.9. – Structural mechanics.

*The work was performed and defended at Russian University of Transport.*

**Bunkova, T. G. Increasing the resource of the wheel-rail pair through the rational selection of material properties. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Povyshenie resursa pary «koleso-rels» za schet ratsionalnogo podbora svoistv materialov. Avtoref. dis... kand. tekh. nauk]. St. Petersburg, PGUPS publ., 2022, 18 p.**

To date, the problem of increasing productivity and reducing the cost of the transportation process in railway transport is being solved by increasing the axle load and speed of the rolling stock. The practice of operating the car fleet has shown an increase in the wear rate of both wheels and rails, which undoubtedly affects safety of train traffic on the railway track. It has been experimentally established that wear resistance of triboelements of the «wheel–rail» system is largely characterized by the hardness of their

materials. Numerous experiments on the effect of hardness on wear were often carried out for a wheel and a rail separately from each other. It is possible to reduce wheel and rail wear by searching for the optimum ratio between the hardness of wheel and rail steels.

Objective of the study. Increasing the resource of the «wheel–rail» pair due to the rational selection of the properties of their materials.

In theoretical studies, the main provisions of tribology, the theory of experiment planning and mathematical modelling are used. The experimental part of the work is based on a method for determining the wear of a wheel and a rail using specially designed equipment, a method for determining hardness, and metallographic analysis. The analysis of the obtained data was carried out in the software packages ANSYS, Statistica, MathCAD.

Scientific novelty of the thesis work:

- Mathematical models of the dependence of wear on the hardness parameters of the «wheel–rail» tribosystem, the effective axial load and the speed of the car are constructed.
- A rational range of hardness values for railway wheel and rail steels is proposed, which reduce their wear and increase the wheel overhaul life.
- The dependence of wheel wear on the run to formation of rolled products of rejection value is established for various values of the hardness of steels of the wheel and rail.
- The equivalent stresses and contact pressures of wheels with nominal and minimum rim thicknesses in the presence and absence of a chip are determined.

The main scientific and practical results of the thesis work are as follows:

1. The analysis of defects excluded from operation of wheel sets of «standard» and «solid» wheels was carried out, which made it possible to reveal an ambiguous dependence of the wear resistance and resource of the «wheel–rail» tribosystem on the hardness of steels. With an increase in the hardness of the wheel steel, the percentage of defects decreases – a thin ridge and a pointed ridge roll, but the percentage of cuts along sliders and dents increases.

2. An experimental method is proposed for determining the rational ratio of hardness of rail

and wheel steels, considering variable axial loads and rolling stock speeds, which allows predicting the overhaul period (mileage) of a freight car wheel, and can be used in the design of new rolling stock and as recommendations in production of a railway track.

3. Experimental studies have been carried out to evaluate the dependence of the wear resistance and resource of a «wheel–rail» pair on the ratio of hardness of their steels using the designed installation and acting axial loads. The optimal ratio of wheel and rail steel hardness (360/360 HB) under any operating conditions was revealed, which will reduce the wear rate of these elements and increase the resource and overhaul life of a freight car wheel up to 1,5 times.

4. The expected annual economic effect when using the proposed ratio of wheel and rail steel hardness will be 1,37 thousand rubles per unit of production (car wheel).

*05.22.07 – Railway rolling stock, train traction and electrification.*

*The work was performed and defended at Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University.*

**Dunaev, A. M. Automated subsystem for diagnosing electrical equipment of frequency converters. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Avtomatizirovannaya podсистема diagnostirovaniya elektrooborudovaniya preobrazovatelei chastoty. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk]. Irkutsk, IRNITU, IrGUPS publ., 2022, 16 p.**

An important task in the field of automation and control of technological processes and industries is to ensure reliability of operation of complex electrical equipment (EE), which includes power semiconductor frequency converters (FC), which are part of frequency-controlled electric drives of general industrial electrical equipment. The aforementioned equipment, in particular, includes asynchronous electric drives for cranes, conveyors, pumps, fans, metal-cutting machines and industrial robots. In addition, a significant amount of technological equipment for production and repair includes modern frequency-controlled electric drives.

Frequency converters are the most complex electrical equipment of a modern frequency-controlled electric drive, since they include power semiconductor diodes and transistors, as well as a microprocessor control system of the inverter, including the control system of the entire electric drive.

The solution to the problem of reducing time and improving quality of diagnosing the aforementioned complex equipment can be the use of technical diagnostic methods. The logical algorithms of methods of this class are algorithms that use the apparatus of mathematical logic. The mathematical model of the diagnosing object (OD) considers the OD as a system of interconnected functional elements that can be in one of two states: 0 – not normal, 1 – normal.

Currently, the most time-consuming components of the diagnosing process are situation assessment and decision-making, which is explained by the ever-increasing amount of information that must be considered to increase the objectivity of the situation assessment, as well as the heuristic nature of knowledge that allows the expert to obtain high-quality and effective solutions to the tasks. In connection with these circumstances, there is a need for complex automation of the process of collecting information and decision-making, for implementation of which it seems promising to use intelligent systems developed on the basis of application of logical methods of technical diagnostics and methodology of expert systems (ES).

The objective of the work is to create an automated subsystem for diagnosing electrical equipment of frequency converters, which increases the efficiency of the troubleshooting process.

The scientific novelty of the work lies in the fact that for the first time:

1. Logical algorithms for diagnosing electrical equipment are proposed, taking into account its technical conditions, which differ from the known algorithms for half division by the rules for choosing the first check in the object of diagnosis.

2. A procedure has been developed for constructing a tree of the optimal logical algorithm for diagnosing electrical equipment.



3. A tree of the optimal logical algorithm for diagnosing frequency converters has been built, which differs from the known diagnosing algorithms by a minimum indicator of average diagnostic costs.

4. A structure of the knowledge base of the expert complex for diagnosing the electrical equipment of frequency converters has been developed, based on the proposed optimal logical algorithm for diagnosing.

The conclusions and results of the work were obtained using the mathematical apparatus of Boolean algebra, optimization methods, programming technology in high-level languages, and expert system development technology.

During the thesis, the following main results were obtained:

1. The current state of methods and systems for diagnosing electrical equipment, including equipment for AC electric drives, is analysed.

2. Based on the performed analysis, the structure and algorithms for functioning of the automated subsystem for diagnosing electrical equipment of frequency converters are proposed.

3. New logical algorithms for diagnosing electrical equipment have been developed, which differ from the known algorithms by the rules for choosing the first test and are more efficient when applied to frequency converters.

4. A procedure for constructing an optimal logical algorithm for diagnosing electrical equipment of frequency converters is proposed. An optimal logical algorithm for diagnosing frequency converters has been developed, which is characterized by minimal time consumption.

5. Based on the optimal algorithm, the structure of the knowledge base of the expert complex for diagnosing the electrical equipment of frequency converters has been developed.

6. In accordance with the proposed structure and operation algorithms, an automated subsystem for diagnosing electrical equipment of frequency converters used in industry has been implemented. The subsystem allows diagnosing in real time and in the mode of consulting assistance.

7. Approbation of the implemented subsystem showed that its application to real electrical equipment of frequency converters allows for an average threefold reduction in the time of diagnosis and adjustment.

*2.3.3 – Automation and control of technological processes and industries (technical sciences).*

*The work was performed at Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Irkutsk National Research Technical University (IRNITU), defended at Irkutsk State Transport University (IrGUPS).*

**Pershin, N. V. Automation of management of transportation of liquefied natural gas by sea. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Avtomatizatsiya upravleniya perevozkami szhizhennogo prirodnogo gaza morskim transportom. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk]. Moscow, RUT publ., 2021, 23 p.**

The Arctic zone, rich in natural gas, needs to create effective transport and logistics systems for safe, uninterrupted, and economically rational export of hydrocarbon raw materials. The development of the Northern Sea Route as a historically established national unified transport communication of the Russian Federation in the Arctic, as well as growing production, processing, and transportation of natural gas in this region, require creation of an automated control system that ensures cost-effective and safe transportation of liquefied natural gas (hereinafter referred to as LNG), which determines the relevance of this study.

Objective of the study. Development of principles for building an automated system for managing LNG transportation by sea, which ensures safe and cost-effective delivery of natural gas.

Methods of system analysis, control theory, probability theory, operations research and mathematical statistics, optimization theory are used.

Scientific novelty of the thesis:

- Based on the analysis of existing methods for planning and managing LNG transportation

by sea, economic feasibility of creating an automated control system was shown.

- For the first time shown and substantiated based on processing of statistical data, the dependence of productivity of the LNG plant on the meteorological factor.

- The need for development of automated systems for managing LNG transportation by sea was for the first time substantiated by the results of processing statistical data on LNG consumption volumes.

- For the first time, a mathematical model has been developed that makes it possible to analyse time losses in the interaction of manufacturing plants and loading operations of gas tankers.

- To analyse the dynamics of functioning of LNG transportation management system by sea in the presence of disturbances, the probabilities of finding gas tankers near LNG plant in the conditions of the possibility of their full load and the absence of time losses are determined, allowing to develop appropriate controls in an automated system.

- Based on the analysis of movement of gas tankers in confined waters, the productivity of LNG production plants, the cost of LNG, the daily freight rate of gas tankers, an optimization problem was set and solved for choosing the time for the approach of a gas tanker to enter confined waters, which ensures minimization of economic costs.

- Developed and substantiated the principles of building an automated system for managing LNG transportation by sea, including planning algorithms and ways to implement the implementation of the schedule of gas tankers for LNG export in real time due to the receipt of operational information from the objects of the transportation process.

The main results are as follows.

1. The analysis of methods for planning and managing LNG transportation by sea showed that there are currently methods for developing logistics schemes for transporting LNG, scheduling LNG transportation, an economically viable method for transporting LNG from areas with harsh climatic conditions, and methods for transporting LNG. At the same time, in world practice there are no automated

systems for planning and managing LNG transportation by sea, in which the above developments can be used. The analysis carried out made it possible to formulate requirements for an automated control system.

2. The study of productivity of manufacturing plants has been conducted.

LNG (on the example of the production complex of the Sakhalin-2 project, located in the village of Prigorodnoye on Sakhalin Island), during which the dependence of the productivity of the LNG plant on the meteorological factor was established, which has a significant impact on the LNG transportation process and should, unlike known methods, be taken into account when planning LNG transportation and scheduling movement of gas tankers.

3. A statistical study of the dynamics of LNG consumption in the world showed:

- Increase in the amount of energy consumed from the considered LNG terminals from 2014 to 2018 by 22 % and a jump in 2019 by 45 % compared to 2018.

- The prevailing impact on the pricing (import and export) of LNG of the cost of oil, compared with the competition of gas sources.

- The growth in LNG consumption confirmed the relevance and necessity of creating an automated system for managing LNG transportation by sea.

4. A mathematical model «Tanker-gas carrier – Plant for production of liquefied natural gas» has been developed, based on the theory of Markov processes, which makes it possible to determine the probability of a gas tanker being at the point of loading with raw materials under various weather conditions and the probability of LNG in the reservoirs of the manufacturer.

5. The study of the dynamics of functioning of the LNG transportation management system by sea showed that:

- The probability of presence of LNG at the LNG plant during operation of three technological lines and the presence of a gas tanker near the LNG plant in summer is 29 % higher than the corresponding probability, in relation to winter conditions.

- The increase in the number of production lines of the LNG plant from one to two leads



to a decrease in the probability of downtime for a gas tanker by 29 % in summer and 35 % in winter.

- The increase in the number of production lines of the LNG plant from one to three leads to a decrease in probability of downtime of a gas tanker by 43 % in summer and 48 % in winter, in relation to one production line.

6. The analysis of movement of gas tankers in constrained waters under various hydrometeorological conditions was carried out, on the basis of which the problem of choosing the time for the approach of a gas tanker to enter constrained waters according to the criterion of minimum economic costs by the optimum-nominal method was set and solved.

7. The principles of construction, structure, and algorithms for operation of an automated system for managing transportation of liquefied natural gas by sea have been developed, which make it possible to reduce losses during transportation of LNG from the freezing seas of the Arctic zone by eliminating downtime of gas tankers during loading and long-term storage of LNG in tanks due to its daily evaporation.

8. The effectiveness of the results of the work is confirmed by their use in the companies of the Gazprom Group and the inclusion in the educational process of the universities of the Russian Federation (FSBEI HE Saint-Petersburg Mining University, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Russian State University of Oil and Gas (NRU) named after I. M. Gubkin, Russian State Hydrometeorological University).

As recommendations and prospects for further development of the topic of the thesis, the solution of an optimization problem for the full cycle of movement of a gas tanker from an LNG plant to an LNG terminal with development of an appropriate automated control system is proposed.

*2.3.3 – Automation and control of technological processes and productions.*

*The work was performed and defended at Russian University of Transport.*

**Vetchanin, E. V. Qualitative analysis of the characteristic features of the behaviour of hydrodynamic and nonholonomic systems with periodic controls based on finite-dimensional models. Abstract of D.Sc. (Physics and Mathematics) thesis [Kachestvenniy analiz kharakternykh osobennostei povedeniya gidrodinamicheskikh i negolonomnykh sistem s periodicheskimi upravleniyami na osnove konechnomernykh modelei. Avtoref. dis... doc. f.-m. nauk]. Moscow, MAI publ., 2021, 38 p.**

At present, due to development of electronics and circuitry, much attention is paid to development of various autonomous and controlled mobile robots moving in an aquatic (air) environment or on solid surfaces.

Propellers are the traditional means of generating propulsive force when moving in liquids, in the application of which significant success has been achieved, mainly due to the needs of the military-industrial complex. Autonomous uninhabited underwater vehicles designed for ocean exploration are usually equipped with propellers.

In the last two decades, the idea of self-propelling of solids in a liquid due to movement of internal masses or rotation of internal rotors has been studied. With this method of movement, it is assumed that the system may not have external moving elements at all. Note that this method of movement dates back to the work of the Soviet engineer V. N. Tolchin. Modern theoretical studies of this method of movement are presented, in particular, in the work of Academician of the Russian Academy of Sciences V. V. Kozlov, the work of Academician of the Russian Academy of Sciences F. L. Chernousko and some foreign works.

To implement movement of mechanical systems on solid surfaces, wheel and caterpillar drives are traditionally used. However, it is an interesting idea to develop spherical robots, which can also be controlled by internal rotors and moving internal masses.

From a mathematical point of view, the problem of controlling motion of a mechanical system with the help of internal masses and rotors is reduced to the choice of laws for changing the

position of the centre of mass, moments of inertia and gyrostatic moment of the system. In this case, the control laws that ensure motion in the vicinity of trajectories of even a simple form (straight line, circular arc) turn out to be nontrivial. From an engineering point of view, the simplest for implementation are periodic control laws. We note that the motion of internal mechanisms, in particular, periodic motion, can lead to the appearance of parametric resonance, various asymptotically stable or chaotic modes of motion. Thus, along with the problem of constructing explicit controls (program or based on feedback), the problems of studying the stability of motion and stabilizing particular motions also arise.

The objective of the work is to analyse the behaviour of dynamical systems with periodic controls based on finite-dimensional models of ordinary differential equations; identification of features that characterize the plane-parallel motion in a liquid of a solid body with an internal rotor and periodically changing circulation, a solid body with a movable internal mass that performs periodic movement relative to the body, a solid body, which is subject to periodic external forces and a moment of force, rotation of a solid body with a fixed point and periodically changing moments of inertia, rolling along the plane of balanced and unbalanced spherical bodies with periodically changing moments of inertia and gyrostatic moment.

On the basis of analytical and numerical methods of qualitative analysis, the behaviour of finite-dimensional dynamical systems with periodic coefficients, describing:

- Plane-parallel motion in a liquid of a solid body with an internal rotor in the presence of periodically changing circulation.
- Plane-parallel motion in a liquid of a solid with a periodically moving internal mass in the presence of constant circulation.
- Plane-parallel motion of a solid body in a liquid under the action of external periodic force and moment of forces in the presence of constant circulation.
- Rotation of a rigid body with a fixed point and periodically changing moments of inertia at a constant gyrostatic moment.
- Rolling of a balanced and unbalanced spherical body on a plane without slipping and

spinning in the case of periodically changing moments of inertia and gyrostatic moment.

The following results were achieved in the previous works, which formed the basis of the thesis research. A qualitative analysis of motion of an elliptical profile in an ideal fluid under the action of periodic oscillations of the rotor in the presence of constant circulation is performed. An approximate solution of the equations describing the motion of a circular profile in a viscous fluid under the action of a periodic control and a periodically changing circulation is constructed. A computer analysis of the motion of an elliptical profile in a viscous fluid under the influence of a periodic change in the gyrostatic moment and a periodically changing circulation is performed.

A computer analysis of motion of an elliptical profile in a viscous fluid under constant circulation and under the influence of oscillations of an internal material point is performed.

A qualitative analysis of motion of a balanced circular profile in an ideal fluid under the action of external periodic force and moment of forces has been carried out. In work the author carried out an analytical and numerical study of motion of an elliptical profile in an ideal and viscous fluid under the action of external periodic forces and moment of forces, analysed integrable cases and their periodic perturbations.

Exact solutions of the equations of motion of a balanced circular profile in a fluid under the action of external periodic force and moment of forces in the form of single and double rows are constructed. In work the author studied the phenomenon of asymptotic stability with respect to some variables in a mathematical model describing motion of a balanced circular profile in an ideal fluid under the action of a periodic external moment of forces with a nonzero average value.

The dynamics of a body with a fixed point and periodically changing moments of inertia and gyrostatic moment has been studied, resonant frequencies have been found, and stability diagrams have been constructed.

The influence of friction and a constant external moment of forces on the dynamics of a body with a fixed point and periodically changing moments of inertia is studied.



Based on the harmonic balance method, the boundaries of instability regions for a body with a fixed point and periodically changing moments of inertia are analytically constructed.

A numerical assessment of stability of plane-parallel motions of a balanced spherical body with periodically changing moments of inertia and gyrostatic moment, rolling on a plane without slipping and spinning, is performed. Together with the co-author, a computer analysis of motion of a balanced spherical body with periodically changing moments of inertia and gyrostatic moment was performed, and the dynamics were shown to be non-conservative.

The author performed an analysis of stability of the upper equilibrium position of an unbalanced spherical body moving along a plane without slipping and spinning due to a periodically changing gyrostatic moment, and together with co-authors, an analysis was made of stability of the lower equilibrium position of an unbalanced spherical body moving along a plane without slipping.

01.02.01 – Theoretical mechanics.

The work was performed at the Department of Theoretical Physics of Udmurt State University and defended at Moscow Aviation Institute (National Research University) (MAI). ●

## NEW BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION

*The list of titles originally edited in Russian is published in the first part of the issue.*

**Список на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.**

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-16>  
World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 4 (101), P. 292

Ashikhmin, S. A., Ashikhmina, E. A. Car maintenance: Textbook [*Tekhnicheskoe obsluzhivanie avtomobilei: Uchebnik*]. Moscow, Academiya publ., 2022, 252 p. ISBN 978-5-0054-0267-7.

Ermeeva, L. E. Intermodal and multimodal transportation: Study guide [*Intermodalnie i multimodalnie perevozki: Ucheb. posobie*]. 2<sup>nd</sup> ed., rev. and enl. Moscow, Infra-M publ., 2022, 221 p. ISBN 978-5-16-014609-6 (print).

Gerami, V. D., Kolik, A. V. Urban logistics. Cargo transportation: Textbook for universities [*Gorodskaya logistika. Gruzovye perevozki: Uchebnik dlya vuzov*]. Moscow, Yurayt publ., 2022, 342 p. ISBN 978-5-534-15024.

Ivanov, A. M., Solntsev, A. N., Gaevsky V. V. [et al]. Fundamentals of the design of a modern car: Textbook [*Osnovy konstruktii sovremennogo avtomobilya: Uchebnik*]. 3<sup>rd</sup> ed., rev. and enl. Moscow, Engineering Scientific and Educational Center «SMART», 2022, 344 p. ISBN 978-5-9500975-1-5.

Kharchenko, S. G., Zhizhin, N. K., Kucher, D. E. Risks and problems of development of 5G networks in Russia: Monograph [*Riski i problemy razvitiya seei 5G v Rossii: Monografiya*]. Ed. by D.Sc. (Physics and Mathematics) S. G. Kharchenko. Moscow, MAKSPress publ., 2022, 102 p. ISBN 978-5-317-06740-3.

Kozlova, L. N. German language: operation of road transport and traffic safety: Study guide [*Nemetskiy yazyk: ekspluatatsiya avtomobilnogo transporta i bezopasnost dvizheniya: Ucheb. posobie*]. Bryansk, BSTU publ., 2022. ISBN 978-5-907570-30-6.

Krets, V. G., Rudachenko, A. V., Shmurygin, V. A. Machinery and equipment for oil and gas pipelines: Study guide [*Mashiny i oborudovanie gazonefteprovodov: Ucheb. posobie*]. 2<sup>nd</sup> ed., Saratov, Profobrazovanie publ., 2022, 432 p. ISBN 978-5-4488-1346-7.

Lavrova, A. Yu. Designing a section of a highway [*Proektirovanie uchastka avtomobilnoi dorogi*]. Novosibirsk, STU publ., 2022. ISBN 978-5-00148-267-3.

Malakhov, D. S. Driving without fear and doubt: learn how to get rid of fear and doubt when driving a car, how to get 100 percent. driving confidence, not picking up a bunch of fines and not getting into an accident, relying only on yourself [*Za rulem bez strakha i somnenii: uznajte, kak izbavitsya ot strakha i somnenii pri vozhdenii avtomobilya, kak obresti 100 prots. Uverennost za rulem, ne nakhvatat kuchu shtrafov i ne popast v aviariyu, polagayas tolko na sebya*]. Moscow, Pero publ., 2022, 86 p. ISBN 978-5-00204-207-4.

Modestova, S. A., Lyagova, A. A., Pshenin, V. V. Operation of pumping and compressor stations: Study guide [*Ekspluatatsiya nasosnykh i kompressornykh stantsii: Ucheb. posobie*]. St. Petersburg, Lem publ., 2022, 92 p. ISBN 978-5-00105-712-3.

Novikov, N. Yu. Fundamentals of the theory of information-measuring and control systems [*Osnovy teorii informatsionno-izmeritelnykh i upravlyayushchikh sistem*]. Moscow, Fizmatlit publ., 2022, 559 p. ISBN 978-5-9221-1908-5.

Petukhov, M. Yu. Operational properties of cars. Traction-speed properties and fuel efficiency [*Ekspluatatsionnye svoystva avtomobilei. Tyagovoskorostnye svoystva i toplivnaya ekonomichnost*]. Perm, Perm National Research Polytechnic University, 2022, 60 p. ISBN 978-5-398-02755-6.

Sinelnikov, A. F. Maintenance of trucks: Textbook [*Tekushchiy remont gruzovykh avtomobilei: Uchebnik*]. Moscow, Academiya publ., 2022, 301 p. ISBN 978-5-0054-0227-1.

Tarasik, V. P. Theory of vehicle movement: Textbook [*Teoriya dvizheniya avtomobilya: Uchebnik*]. 2<sup>nd</sup> ed., rev. and enl. St. Petersburg, BHV-Petersburg publ., 2022, 576 p. ISBN 978-5-9775-6817-3.

Ushakov, L. S., Antipov, V. V., Bozhanov, A. A. [et al]. Technological machine for making mine workings and tunnels: justification of the concept: Monograph [*Tekhnologicheskaya mashina dlya provedeniya gornyykh vyrabotok i tonnelei: obosnovanie kontseptsii: Monografiya*]. Oryol, Turgenev OSU, 2022, 103 p. ISBN 978-5-9929-1164-0.

Varis, V. S. Car's anatomy: Textbook [*Ustroystvo avtomobilya: Uchebnik*]. 2<sup>nd</sup> ed. Saratov, Prfobrazovanie publ., 2022, 425 p. ISBN 978-5-4488-1367-2.

Compiled by N. OLEYNIK ●

# STATE INFORMATION SYSTEM OF ELECTRONIC TRANSPORTATION DOCUMENTS

**S**tate Information System of Electronic Transportation Documents (SIS ETD) will allow transport and logistics companies to significantly reduce their costs and speed up business processes. At the first stage, the services of the system will be available on a voluntary basis to more than 7 million active participants in the road transportation process – the largest in terms of the number of stakeholders.

As part of pilot operation of the system, the basic approaches, the logic of the system operation and the processes of interaction with EDM operators were tested, the main scenarios for business processes of issuing electronic transportation documents were developed. For this purpose, a steering working group was created within the Digital Transport and Logistics Association.

From September 1, 2022, it is possible to issue an electronic consignment note, an electronic accompanying statement and an electronic work order in the SIS ETD. From March 1, 2023, the list of documents will expand and will also include an electronic waybill, an electronic charter agreement and an electronic order (applications). Market participants can work with SIS ETD through operators of electronic transportation documents, the requirements for whom have been approved by the Government of the Russian Federation. The system operator is the Ministry of Transport. The developer of SIS ETD was the Federal State Unitary Enterprise ZashchitaInfoTrans subordinated to the Ministry of Transport.

«The transition of companies to electronic document management is an important stage that will speed up the process of mutual settlements and transfer the interaction between business and the state to the digital form, making the market more transparent. In order for the system to work, we have executed a unique interdepartmental digitalisation project, in which the Ministry of Transport, the Ministry of Digital Development, the Federal Tax Service and the Ministry of Internal Affairs of Russia participated», said Dmitry Bakanov, Deputy Minister of Transport of the Russian Federation.

To shape uniform rules for working with electronic transportation documents, the Ministry of Transport of Russia, together with the Federal Tax

Service of Russia and business, has developed an appropriate regulatory framework, including technical requirements for information systems for electronic transportation documents, the procedure for keeping a register of operators of information systems for electronic transportation documents, as well as the procedure for exchanging electronic transportation documents between the participants in information interaction.

To date, introduction of SIS ETD does not cancel the use of paper documents. Checks of documents on the roads will now be carried out electronically for those who work with SIS ETD.

«SIS ETD is the «core» of the comprehensive service «Paperless Transportation of Passengers and Cargo» created by the efforts of the Ministry of Digital Development and the Ministry of Transport. «Super service» is aimed at optimising the activities of businesses in the field of transport and for their customers. The transfer of the bill of lading to electronic form will allow commercial structures to save time, reduce costs, and increase competitiveness. Today, in addition to implementation of services for issuing of an invoice in electronic form intended for carriers, two important processes have also been implemented. The first one is the ability of the traffic police and Rostransnadzor [Federal Transport Safety Supervision Service] inspectors to check the consignment note in the form of a QR code. The second is simplification of tax audits. Now the Federal Tax Service will be able to access invoices at any time, and carriers will not need to provide paper documents upon request.

In the future, the use of SIS ETD will ensure creation of a single information environment for the exchange of documents between participants in the transportation process in all modes of transport – road, railway, air and sea.

The conversion of transportation documents into electronic form is one of the key tasks of the Transport Strategy until 2030, adopted by the Government at the end of last year.

**Compiled based on the news of press centre  
of the Ministry of Transport of the Russian  
Federation: [https://mintrans.gov.ru/press-  
center/news/10347](https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10347) ●**



**World of Transport  
and Transportation**

Vol. 20, Iss. 4, 2022

*Editor-in-Chief* **Boris Lyovin**

For your letters:

Russian University of Transport,  
World of Transport and  
Transportation Journal,  
9, str. 9, Obraztsova ul.,  
Moscow, 127994, Russia.  
Tel. +7(495)684 2877  
e-mail: mirtr@mail.ru

Почтовый адрес редакции:

127994, Москва,

ул. Образцова, д. 9, стр. 9.

Российский университет

транспорта,

Издательство «Транспорт РУТ»

Тел.: (495)6842877

e-mail: mirtr@mail.ru



ISSN 1992-3252



9 771992 325778 >