

ТРАНСПОРТ *МИР*

WORLD OF TRANSPORT
AND TRANSPORTATION

3 2021
Том / Vol. 19





125 ЛЕТ РУТ (МИИТ)

Российский университет транспорта РУТ (МИИТ) – ведущий национальный транспортный вуз, передовой межтранспортный и общетранспортный научно-образовательный центр, в 2021 году празднует юбилей – 125 лет с момента основания. За более чем вековую историю он прошёл большой путь от Императорского Московского Инженерного училища до крупнейшего отраслевого университета страны и базового центра кадрового обеспечения и научного сопровождения развития транспортной отрасли – Российского университета транспорта (МИИТ).

Приоритет развития вуза состоит в обеспечении кадровых потребностей транспортной отрасли.

В настоящее время в Российском университете транспорта обучается более 30 тысяч учащихся, ежегодно выпускается более пяти тысяч специалистов. За всю историю вуза из его стен вышло более 350 тысяч профессионалов.

Вуз разрабатывает новые образовательные программы, формирует новые направления научных исследований, развивает детский транспортный технопарк, а также работает над реализацией ключевого проекта – созданием многофункционального технологического кластера «Образцово».

Целый ряд материалов этого номера в разделах «Образование и кадры», «Колесо истории» посвящён юбилею. ●

125TH ANNIVERSARY OF RUSSIAN UNIVERSITY OF TRANSPORT (MIIT)

The Russian University of Transport, the leading national transport university, an advanced scientific and educational centre in the field of transportation celebrates in 2021 its 125th anniversary. For more than a century of history, it has come a long way from the Imperial Moscow Engineering School to the largest industry university in the country and the basic centre for staffing and scientific support for the development of the transport industry.

The priority of the university's development is to ensure the needs of the transport industry in skilled and highly qualified employees.

Currently, more than 30 thousand students study at the Russian University of Transport,

more than five thousand specialists are graduated annually. Throughout the history of the university, more than 350 thousand professionals have left the walls of the educational organisation.

Now, the University develops new educational programs, discovers new fields of scientific research, a children's transport technopark, as well as works on the implementation of a key project which is the creation of a multifunctional technological cluster «Obraztsovo».

The publications of this issue in the «HRM, Education & Training», «History Wheel» sections are dedicated to the anniversary. ●

Фото на первой обложке: РУТ (МИИТ).

Front cover photos: Russian University of Transport.

ТРАНСПОРТ МИР

• ТЕОРИЯ • ИСТОРИЯ
• КОНСТРУИРОВАНИЕ БУДУЩЕГО

3 2021
(94)

Издаётся
Российским университетом
транспорта.
Учреждён МИИТ
в 2003 году

Редакционный совет:

Б. А. Лёвин – доктор техниче-
ских наук, профессор РУТ –
председатель совета

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

А. А. Горбунов – доктор поли-
тических наук, профессор РУТ

Б. В. Гусев – член-корреспон-
дент Российской академии
наук

Н. А. Духно – доктор юридиче-
ских наук, профессор РУТ

Д. Г. Евсеев – доктор техниче-
ских наук, профессор РУТ

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

К. Л. Комаров – доктор техниче-
ских наук, профессор Сибирско-
го государственного университе-
та путей сообщения

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

Б. М. Лapidус – доктор эконо-
мических наук, профессор

Д. А. Мачерет – доктор эконо-
мических наук, профессор РУТ,
первый заместитель председа-
теля Объединённого учёного
совета ОАО «РЖД»

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

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

Ю. И. Соколов – доктор эконо-
мических наук, профессор РУТ
Тран Дак Су – доктор техниче-
ских наук, профессор Универ-
ситета транспорта и коммуни-
кации (Ханой, Вьетнам)

Т. В. Шепитько – доктор тех-
нических наук, профессор РУТ

СОДЕРЖАНИЕ

НАУКА И ТЕХНИКА

Олег ВОРОН

Методология исследования потребностей развития
транспортной инфраструктуры и подвижного состава
для перевозок скоропортящихся грузов 6

Михаил КУЛИКОВ, Владимир БИРЮКОВ, Антон ПРИНЦ

Анализ триботехнических свойств и сравнительная
оценка полимерных материалов и резины, применяемых
в подвижном составе 16

*Анатолий НИКИШЕЧКИН, Лев ДУБРОВИН,
Владимир ДАВЫДЕНКО*

Феррозонды в бортовых системах взвешивания
большегрузных самосвалов 25

ЭКОНОМИКА

Наталья НИКУЛИНА, Лидия АВЕРИНА

Роль региональной транспортно-логистической
инфраструктуры в формировании единого экономического
пространства 34

Татьяна ПОПОВА, Александр П. ПОПОВ

Формализованный подход к оптимальному внедрению
комплекса технических средств 45

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Николай АЛЕКСЕЕВ, Павел ЗЮЗИН

Оценка применимости Wi-Fi-аналитики в исследованиях
пассажиропотоков городского общественного транспорта
на примере Москвы 54

Рахмиддин САЛОМЗОДА, Музаффар БОБОЕВ

Анализ пассажиропотоков, обслуживаемых автобусными
маршрутами Худжанда 67

Николай НЕЧИТАЙЛО

Задачи транспортного типа по критерию времени с учётом
характеристик применяемых транспортных средств 74

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», 2021

БЕЗОПАСНОСТЬ, ЭКОЛОГИЯ, УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

Владислав НЕЗЕВАК

Повышение эффективности рекуперации путём применения систем накопления электроэнергии для собственных нужд тяговых подстанций 82

Александр В. ПОПОВ

Исследование склонности к риску среди водителей легковых автомобилей в возрасте 18–25 лет. 96

ОБРАЗОВАНИЕ И КАДРЫ

*Алексей ФЕДЯКИН, Сергей МЕДВЕДЕВ,
Анастасия ТАНЦЕВОВА*

В авангарде транспортного образования и отраслевой науки России: к 125-летию Российского университета транспорта. 104

Ольга ПЛАТОНОВА, Лидия ПУГИНА

Между математикой, железной дорогой и литературой... 114

КОЛЕСО ИСТОРИИ

Лариса РОЩЕВСКАЯ, Михаил РОЩЕВСКИЙ

Послевоенные проекты академика В. Н. Образцова по развитию транспорта на Европейском Севере СССР. 124

Пресс-архив

В. МЫЛЬНИКОВ

Технические железнодорожные училища и ремесленные железнодорожные курсы 133

КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

Олег ДАМАСКИН

Организационно-правовые проблемы на транспорте в условиях пандемии 138

Авторефераты диссертаций 141

Новые книги о транспорте 146

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. Тираж 300 экз. Цена свободная.

Отпечатано с оригинал-макета в полиграфическом центре ФГУП Издательство «Известия», 127254, Москва, ул. Добролюбова, д. 6, тел.: (495) 650-38-80, izv-udprf.ru.

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, Library of Congress, WorldCat.org.



World of Transport and Transportation

•THEORY
•HISTORY
•ENGINEERING
OF THE FUTURE

Vol. 19²⁰²¹
Iss. 3

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. Kuanyshv, 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. Mirotin, 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

Oleg A. VORON

Methodology of Research on the Demand for
Development of Transport Infrastructure and Rolling Stock
for Perishable Goods Transportation 148

*Mikhail Yu. KULIKOV, Vladimir P. BIRYUKOV,
Anton N. PRINTS*

Analysis of Tribotechnical Properties and Comparative
Evaluation of Polymeric Materials and Rubbers
Used in Rolling Stock 158

*Anatoly P. NIKISHECHKIN, Lev M. DUBROVIN,
Vladimir I. DAVYDENKO*

Fluxgate Sensors for Onboard Weighing Systems
of Heavy-Duty Dump Trucks 167

ECONOMICS

Natalia L. NIKULINA, Lidia M. AVERINA

The Role of Regional Transport and Logistics Infrastructure
in Development of a Single Economic Space 176

Tatiana A. POPOVA, Alexander P. POPOV

A Formalised Approach to Optimal Adoption of a Complex
of Technical Means 187

ADMINISTRATION, MANAGEMENT AND CONTROL

Nikolai Yu. ALEKSEEV, Pavel V. ZYUZIN

Assessment of Applicability of Wi-Fi Analytics in Studies
of Urban Public Transport Passenger Flow
(Moscow Case Study) 196

Rakhmiddin S. SALOMZODA, Muzaffar M. BOBOEV

Analysis of Passenger Flows Served by Bus Routes
in the city of Khujand 209

Nikolay M. NECHITAYLO

A Type of Transportation Problem to be Solved Following
the Time Criterion and Considering Vehicle Features 216

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

© 2021. All rights reserved.

SAFETY, SUSTAINABILITY, ENVIRONMENTAL PROTECTION

Vladislav L. NEZEVAK

Increasing the Efficiency of Recuperation Through
the Use of Energy Storage Systems for the Own
Needs of Traction Substations 224

Alexander V. POPOV

Study on Risk Tolerance of Passenger
Car Drivers Aged 18–25 238

HRM, EDUCATION & TRAINING

Alexey V. FEDYAKIN, Sergey V. MEDVEDEV,

Anastasia V. TANTSEVOVA

At the Forefront of Transport Education and Industrial
Science in Russia: the 125th Anniversary of Russian
University of Transport 246

Olga A. PLATONOVA, Lydia V. PUGINA

Between Mathematics, Railways and Literature... 256

HISTORY WHEEL

Larisa P. ROSCHEVSKAYA, Mikhail P. ROSCHEVSKY

Post-war Projects of Academician V. N. Obratsov
for Development of Transport in the European
North of the USSR 266

News from the archives

V. MYLNIKOV

Technical Railway Schools and Railway Trade Courses 275

BIBLIO-DIRECTIONS

Oleg V. DAMASKIN

Organisational and Legal Problems in Transport
Industry during a Pandemic 280

Selected Abstracts of D.Sc. and Ph.D. Theses
Submitted at Russian Transport Universities 283

New Books on Transport and Transportation 288

Published quarterly since 2003. Bimonthly since 2013.

94 issues have been published since 2003.

Current issues are circulated in 300 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 ✉.

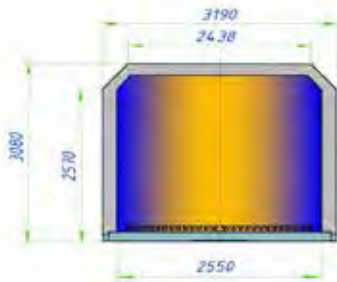
The open accessed full texts of the articles, editorial politics and guidelines for the authors are available at the Website of the journal at <https://mirtr.elpub.ru/jour> (both in Russian and English). The authors can submit their articles either in Russian or in English. The journal uses double-blind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

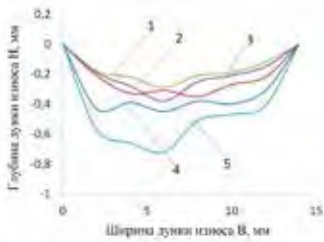
Any reproduction in whole or in part on any medium or use of English translation of the articles contained herein is prohibited for commercial use without the prior written consent of World of Transport and Transportation.

TV



ИЗОТЕРМИЧЕСКИЙ ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ 6

Вагон, контейнер, съёмный кузов – типы разные, задача – одна: найти эффективное решение.



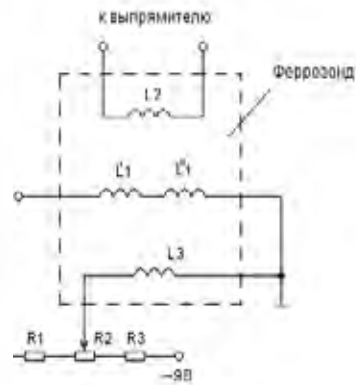
НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ 16

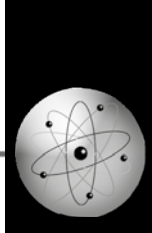
Полимеры в парах трения. Что показали исследования?



МАССА КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА 25

Как её измерить с помощью напряжённости магнитного поля?





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ
УДК 658.7:629.463.125
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-1>

Методология исследования потребностей развития транспортной инфраструктуры и подвижного состава для перевозок скоропортящихся грузов



Олег Андреевич Ворон

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),
Ростов-на-Дону, Россия.
✉ rgups_voron@mail.ru.

Олег ВОРОН

АННОТАЦИЯ

В условиях глобализации экономических связей, интенсификации транспортно-технологических решений методология исследования и развития транспортной инфраструктуры требует совершенствования и адаптации к динамично меняющимся условиям транспортного рынка.

Целью работы является формализация и развитие методологии исследования транспортной инфраструктуры, включая специализированный изотермический подвижной состав. Для обработки исходных данных грузооборота использовались методы математической статистики. Для обоснования технических параметров инновационного изотермического подвижного состава были применены методы анализа иерархий (Саати), экспертных оценок, актуализации технических решений (МАТР).

В статье представлен анализ грузооборота скоропортящихся грузов, перевозимых железнодорожным хладотранспортом, по объёмам, типам подвижного состава и дорогам направления. Показаны основные направления формирования и назначения грузопотоков по видам сообщения (внутреннего, транзита, экспорта, импорта). Определено, что ключевыми факторами развития изотермического подвижного состава для перевозок скоропортящихся грузов в транспортной системе страны являются перевозки мяса, рыбы, пива, безалкогольных напитков, соков в сегменте внутренних перевозок. Анализ показывает, что структурных и количественных сдвигов по видам перевозки и по родам груза не наблюдается.

Стратегия развития транспортных средств для перевозки скоропортящихся грузов и методология представ-

лена блок-схемой, в разрезах: «постановка задачи исследования», «этапы принятия решений», «методы и алгоритмы реализации решений». Показано, что задача включает не только развитие стационарной железнодорожной инфраструктуры и формирование этапов развития изотермического подвижного состава, но и необходимость решения организационно-технических, технологических, нормативно-правовых проблем, а также вопросы тарифного регулирования.

Рассмотрены вопросы методологии создания инновационного изотермического подвижного состава с учётом возможных перспектив его развития и сфер применения, комплекса технических и технологических решений. Исследование линейных размеров и полезного сечения грузового помещения различных типов изотермических кузовов показывает преимущество вагонов и съёмных кузовов, по сравнению с крупнотоннажными рефрижераторными контейнерами.

Создавать типаж инновационного изотермического подвижного состава предлагается на основе универсального изотермического кузова, комплектуемого из различных типов энергоохлаждающего оборудования с заданными техническими параметрами, максимально удовлетворяющими требованиям современного рынка транспортных услуг. Проанализированы сферы возможного использования различных типов изотермического подвижного состава с учётом долговременных прогнозов развития сельскохозяйственной, рыбной и перерабатывающей отраслей.

Ключевые слова: транспорт, транспортная инфраструктура, скоропортящийся груз, методология исследований, транспортная система, изотермический подвижной состав, крупнотоннажный рефрижераторный контейнер, съёмный кузов.

Для цитирования: Ворон О. А. Методология исследования потребностей развития транспортной инфраструктуры и подвижного состава для перевозок скоропортящихся грузов // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 3 (94). С. 6–15. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-1>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Ключевая особенность транспорта как обеспечивающей отрасли экономики требует совершенствования методологии исследования и развития *транспортной инфраструктуры (ТИ)* в условиях глобализации экономических связей, интенсификации транспортно-технологических решений и инновационного характера протекающих изменений, трансформации грузопотоков, связанных с изменениями объёма, по специализации грузовых перевозок и их направлениям. Макроэкономические изменения внешней среды, влияющие на транспортно-технологические решения в системе организации грузопотоков, можно разделить на следующие группы:

- количественные изменения объёмов грузопотоков по основным направлениям;
- изменения в технологии организации перевозок, требований к срокам доставки, сохранности груза, ценовых параметров;
- изменение институционального окружения транспортных услуг, операторов рынка транспортных услуг, транспортных средств и технологий перевозочного процесса;
- состояние и тенденции развития ТИ по видам транспорта, парка транспортных средств и их характеристики;
- геополитические и национальные факторы, влияющие на развитие ТИ;
- взаимовлияние (конкуренция) видов транспортной работы за ресурсы (мощности) инфраструктуры и другие.

Локализация проблемы развития ТИ к конкретной группе грузов со специфическими условиями организации, требованиями к парку транспортных средств, терминальным комплексам обслуживания грузопотоков и транспортных средств в пути их следования трансформирует типовые методологические подходы к исследованию транспортных систем. К таким грузам в *транспортной системе (ТС)* страны относятся грузы (продукты, товары), требующие определённых температурных режимов транспортировки – *скоропортящиеся грузы (СПГ)*.

В нашей стране необходимость отдельного рассмотрения методологии развития ТИ СПГ также связана со значительными институциональными сдвигами в организации перевозок СПГ, со снижением в последние десятилетия инвестиционной активности, направленной на развитие специализированного изотермического подвижного состава

(ИПС) и транспортных средств для перевозки СПГ. Кроме того, рассмотрение данной проблемы требует учёта влияния транспортной инфраструктуры на обеспечение продовольственной безопасности Российской Федерации ввиду размеров территории страны.

Вопросы разработки концепций, моделей и механизмов логистического менеджмента, формирования отраслевых логистических транспортных систем наряду с вопросами практической реализации различных инновационных проектов на примере международных транспортных коридоров представлены в разноплановых работах [1–5]. Так, в работе [3] представлены динамические территориальные транспортно-логистические системы, которые рассматриваются с использованием анализа изменений в элементах их сетевого представления и последующего управления ими. Возрастающая оценка значимости сценарного прогнозирования потребности в услугах крупных системно организованных инфраструктур в крупных хабах и во взаимодействии с морским транспортом показана в работах [6; 7]. Эффективность и безопасность логистической транспортной системы рассмотрена в работе [8].

Целью работы является формализация и развитие методологии исследования транспортной инфраструктуры, включая специализированный изотермический подвижной состав. Для обработки исходных данных грузооборота использовались *методы* математической статистики, для обоснования технических параметров инновационного изотермического подвижного состава были применены методы анализа иерархий (Саати), экспертных оценок, актуализации технических решений (МАТР).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Методологическая схема

Общая методологическая схема исследования ТИ для перевозок СПГ в транспортной системе страны имеет вид, представленный на рис. 1. Ключевым элементом в разработке и реализации такой стратегической задачи является прогнозирование и формирование транспортно-экономических балансов.

Прогнозирование объёма перевозок СПГ с методических позиций экономического прогнозирования должно базироваться на маркетинговом анализе спроса на продукты катего-



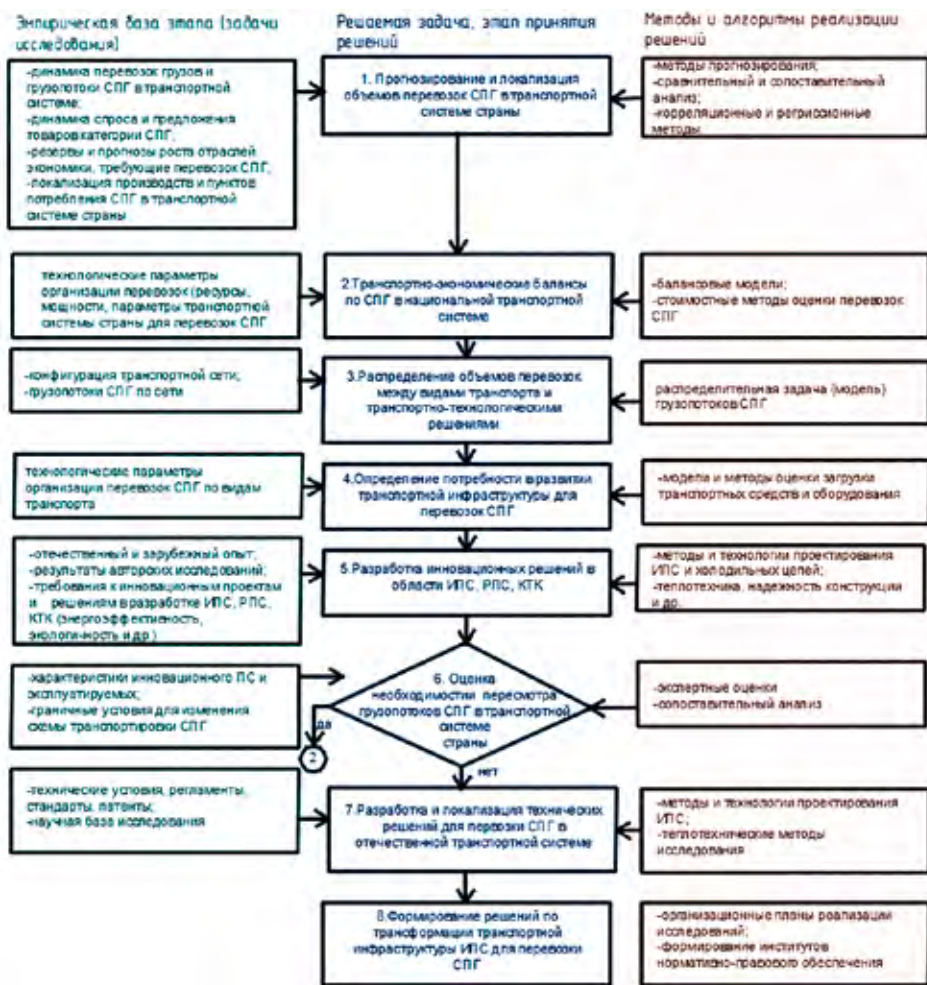


Рис. 1. Общая схема стратегии развития транспортных средств для перевозки СПГ (выполнена автором).

рии СПГ с позиции их транспортировки. Сегментация рынка по каждому виду продукции, сложность рассмотрения этой задачи и получения адекватных оценок связаны с необходимостью проведения маркетинговых исследований по каждому виду продукта.

С позиций транспорта (решение вопросов развития ТИ) допускается агрегирование товаропотоков по признаку однородности технологий транспортировки. К таким признакам для агрегирования грузопотоков относится требование к подвижному составу по видам транспорта.

На железнодорожном транспорте для перевозки СПГ используются различные типы в целом однородного *изотермического подвижного состава (ИПС)*. В силу этого решения задач (1)–(3) (см. рис. 1) могут быть сведены к общему анализу динамики грузопотоков СПГ. Также следует отметить возможность

оценки спроса на транспортную инфраструктуру с локализацией по типологии ИПС.

Анализ структуры рынка перевозок СПГ по видам перевозок, по родам подвижного состава представлен на рис. 2.

Исследование показывает, что структурных сдвигов по видам перевозок по используемому подвижному составу не наблюдается. Географическая локализация отправок по железнодорожному транспорту СПГ за 2018–2020 годы представлена в табл. 1 и на рис. 4.

Анализ также показывает, что высокий удельный вес отправок на Октябрьской, Московской, Северо-Кавказской, Западно-Сибирской железных дорогах объясняется уровнем потребления продукции в сегменте СПГ или отраслях экономики.

По родам СПГ наибольший удельный вес приходится на рыбную продукцию и пиво, рис. 5.

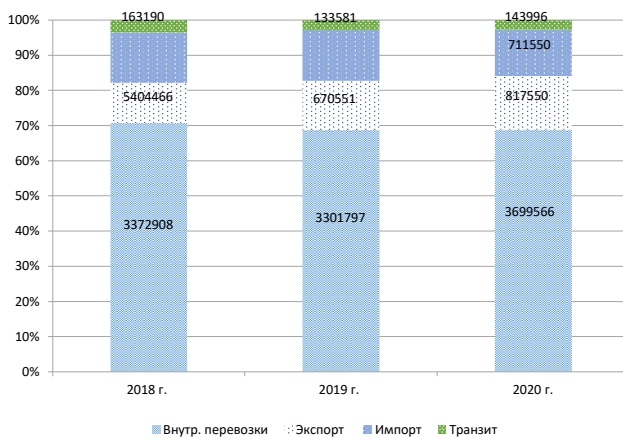


Рис. 2. Динамика рынка железнодорожных перевозок СПГ по видам сообщения (сегментам рынка транспортных услуг) (авторская разработка по данным Ассоциации организаций продуктового сектора – АСОРПС (<http://asorps.ru/>)).

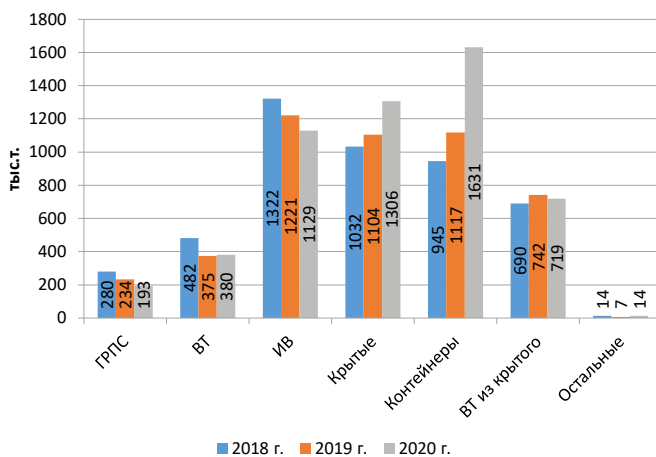


Рис. 3. Подвижной состав, использованный для перевозок СПГ железнодорожным транспортом (по данным АСОРПС).



Рис. 4. Структура, направления и динамика перевозок СПГ железнодорожным транспортом по территории Российской Федерации (по данным АСОРПС).



**Отправление грузов категории СПГ по дорогам отправления, внутренние перевозки
(По данным АСОРПС)**

| Железная дорога, отправление | 2018 | | 2019 | | 2020 | |
|---------------------------------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|
| | Тонн | Доля, % | Тонн | Доля, % | Тонн | Доля, % |
| МСК | 613 860 | 18,20 | 652 793 | 19,77 | 845 540 | 22,86 |
| ДВС | 688 090 | 20,40 | 658 650 | 19,95 | 662 114 | 17,90 |
| ЗСБ | 524 062 | 15,54 | 496 971 | 15,05 | 602 950 | 16,30 |
| ОКТ | 343 212 | 10,18 | 305 993 | 9,27 | 350 694 | 9,48 |
| СКВ | 234 989 | 6,97 | 282 445 | 8,55 | 320 334 | 8,66 |
| КБШ | 197 629 | 5,86 | 187 023 | 5,66 | 204 291 | 5,52 |
| ПРВ | 129 133 | 3,83 | 135 837 | 4,11 | 144 583 | 3,91 |
| ЮВС | 131 692 | 3,90 | 117 710 | 3,57 | 125 060 | 3,38 |
| СВР | 104 285 | 3,09 | 87 714 | 2,66 | 95 554 | 2,58 |
| СЕВ | 118 129 | 3,50 | 84 042 | 2,55 | 87 654 | 2,37 |
| КРС | 86 992 | 2,58 | 82 997 | 2,51 | 86 243 | 2,33 |
| ВСБ | 55 305 | 1,64 | 58 533 | 1,77 | 61 630 | 1,67 |
| ГОР | 50 833 | 1,51 | 63 296 | 1,92 | 54 191 | 1,46 |
| КЛГ | 78 154 | 2,32 | 70 879 | 2,15 | 42 640 | 1,15 |
| ЮУР | 13 232 | 0,39 | 13 372 | 0,40 | 13 059 | 0,35 |
| ЗАБ | 3 154 | 0,09 | 3 542 | 0,11 | 3 024 | 0,08 |
| ЖДЯ | 157 | 0,00 | | 0,00 | 5 | 0,00 |
| Всего | 3 372 908 | 100,00 | 3 301 797 | 100,00 | 3 699 566 | 100,00 |

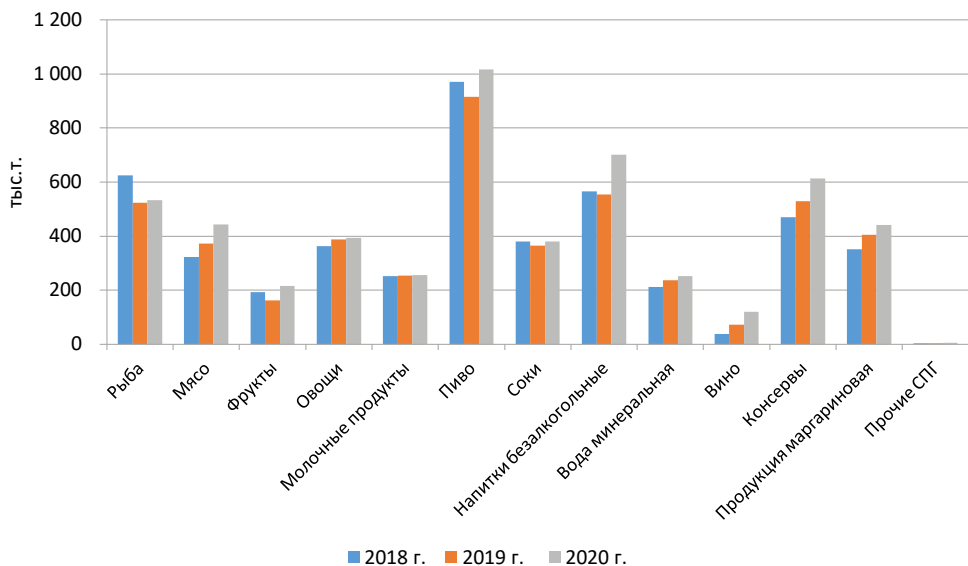


Рис. 5. Распределение объемов перевозок по родам СПГ (По данным АСОРПС).

Таким образом, ключевыми факторами развития ИПС для перевозок СПГ в транспортной системе страны являются перевозки рыбы, пива, безалкогольных напитков, соков, мяса в сегменте внутренних перевозок, на которые приходится значительный процент от общего объема. Основным для таких перевозок является направление «Восток–Запад» по террито-

рии Российской Федерации. Среднее расстояние перевозки оценивается в 4–5 тыс. км. Целесообразные возможности перевозок СПГ в транспортных коридорах рассматриваются в работах [5; 9]. Для сравнительной оценки критериев эффективности при планировании транспортной сети может быть использована методология, представленная в работе [10].

С экологических, экономических позиций перевозки на такие расстояния требуют ИПС в виде рефрижераторного подвижного состава (РПС), который обеспечивает определённую автономность организации транспортировки по отношению к терминальному обслуживающему комплексу.

В то же время, анализ мировой практики перевозок СПГ на расстояния до 500–1000 км показал широкое использование рефконтейнеров с автономным энергоснабжением. Проблемы ТИ при транспортировке рыбы в современных условиях были рассмотрены автором в работе [11].

Формирование функциональных систем инновационного ИПС

В настоящее время в функционировании всей ТИ в составе непрерывной холодильной цепи имеются серьёзные проблемы. Они касаются как стационарных объектов в виде пунктов технического обслуживания и экипировки, грузовых терминалов и резервных холодильников с железнодорожными подъездными путями, так и специализированного ИПС.

Оставшиеся в рабочем парке пятивагонные рефрижераторные секции (вагоны-термосы) проектировались для плановой экономики с абсолютно иной логистикой перевозок. Наличие и функционирование мощной агроиндустрии в Азербайджане, Армении, Белоруссии, Грузии, Молдавии, Украине, огромные объёмы контрактов на поставку импортного продовольствия делали возможными долговременные прогнозы и обеспечивали достаточно стабильную загрузку группового рефрижераторного подвижного состава (рефрижераторных секций и рефрижераторных поездов различной составности). Технические параметры эксплуатируемого в настоящее время ИПС были сформированы исходя именно из этих условий функционирования *непрерывной холодильной цепи (НХЦ)*. Пик перевозок СПГ пришёлся на 1988 год, когда объёмы перевозок составили более 30 млн т. После этого начался затяжной спад, обусловленный прежде всего политическими причинами. Изменившиеся объёмы, структура, регионы формирования грузопотоков, сокращение массы повагонной отправки привели к серьёзной трансформации маршрутов и системному кризису рынка транспортных услуг [12].

Ввиду этого создание инновационного ИПС, технические возможности которого отвечают требованиям транспортного рынка по перевозке СПГ, является актуальной задачей. Новые потребительские качества ИПС, расширение сфер его использования, улучшение технических характеристик за счёт применения в его конструкции новых технических решений и технологий позволят транспортным компаниям занять достойное место на рынке перевозок СПГ [16].

Для обоснования технических параметров инновационного изотермического подвижного состава автором в работах [13; 14] были применены метод анализа иерархий (метод Саати), метод экспертных оценок, метод актуализации технических решений (МАТР). Возможные варианты создания различных типов ИПС, *крупнотоннажных рефрижераторных контейнеров (КРК)* и средств их доставки при транспортировке СПГ, анализ их технико-экономических характеристик представлены в работах [13; 14; 16; 17]. Характер взаимосвязи звеньев НХЦ с потребительскими и организационно-техническими параметрами, основными направлениями и перспективами совершенствования функциональных подсистем ИПС рассмотрены в работе [13].

В соответствии с определением [15], к инновационной продукции относится продукция, технологические характеристики (функциональные признаки, конструктивное выполнение, дополнительные операции, а также состав применяемых материалов и компонентов) либо предполагаемое использование которой являются принципиально новыми или существенно отличаются от аналогичной ранее производимой продукции.

Для вагонной продукции это понятие разделяется на две категории: из области технической эксплуатации и надёжности, а также технических характеристик вагона. К первой (обязательной) относятся увеличение более чем в два раза межремонтных пробегов и отсутствие ограничений в длине гарантийных плеч. Ко второй (дополнительной) – такие технические параметры, как грузоподъёмность, тара, осевая нагрузка и объём кузова.

Улучшение технико-экономических характеристик ИПС (повышение грузоподъёмности, увеличение скоростей движения, экономичности и экологической чистоты) свиде-



тельствует о том, что новый ИПС должен соответствовать критериям инновационности, и связано с конечной задачей – стремлением вернуть утраченные ранее позиции железнодорожного хладотранспорта в конкурентной борьбе с автоперевозчиками.

В этой связи целесообразно рассмотрение следующих категорий инновационного подвижного состава:

- одиночные вагоны с осевой нагрузкой 23,5 и 25 т для скоростей 120 км/ч;
- фитинговые скоростные платформы для крупнотоннажных рефрижераторных контейнеров с осевой нагрузкой 20 т для скоростей 140 км/ч;
- сочленённые вагоны;
- съёмные кузова.

Однако определение безусловного приоритета в структуре перспектив развития и выбора конкретного типа ИПС сейчас является проблематичным.

В работах [13; 14] новый рефрижераторный вагон представлен в виде взаимосвязанных функциональных подсистем: кузова, ходовых частей, ударно-тяговых приборов, системы термостабилизации (охлаждение и отопление) [13], комплекса энергоснабжения, установок создания специальных параметров среды в грузовом помещении, системы управления с функциями дистанционного мониторинга.

В условиях фактического отсутствия специализированной железнодорожной инфраструктуры такой комплекс технических и технологических решений позволяет создавать на базе универсального изотермического кузова вагон нужной комплектации и с заданными техническими параметрами каждого модуля подсистемы, которые обеспечивают потребительские качества, в максимальной степени соответствующие требованиям рынка транспортных услуг. Для каждой из подсистем предлагаются взаимоувязанные технические решения, комплект которых формируется индивидуально для каждой модификации вагона с учётом логистических потребностей оператора [12; 13; 16–18].

Особенности конструкции подвижного состава для мультимодальных перевозок – крупнотоннажных контейнеров и съёмных кузовов, рассмотрены в работах [19–21]. Но они касаются обычного, не изотермического подвижного состава и могут рассматриваться только в отдалённой перспективе.

При сравнении технико-экономических параметров инновационного подвижного состава (вагонов, съёмных кузовов и крупнотоннажных контейнеров) следует учитывать их место в общей транспортно-технологической системе железнодорожного транспорта и НХЦ, что ранее рассматривалось в работе [12].

Основными техническими характеристиками для ИПС являются грузоподъёмность и полезный объём грузового помещения (ГП). Грузоподъёмность определяется величиной осевой нагрузки и тарой вагона. Рост полезного объёма возможен при увеличении длины кузова и допустимой высоты погрузки ГП, поскольку сама высота кузова ограничивается габаритом подвижного состава. И если по грузоподъёмности и полезному объёму их приоритет не вызывает сомнений, то для специализированного энергохолодильного оборудования эти показатели могут быть различными.

При рассмотрении этих параметров для *изотермического вагона (ИВ)* и контейнера с учётом фитинговой платформы введём показатель удельного полезного объёма грузового помещения на погонной длине. В нашем случае рассматриваем изотермический вагон со стандартной длиной кузова 21 м (по осям сцепления 22,15 м) и фитинговые платформы с длиной, соответственно, 14,5, 19,6 и 25,5 м по осям сцепления [13]:

$$V_{уд} = V_{п} / L_{ваг}$$

где $V_{уд}$ – удельный полезный объём на погонной длине вагона;

$V_{п}$ – полезный объём грузового помещения вагона или контейнера, м³;

$L_{ваг}$ – длина ИВ или фитинговой платформы по осям автосцепки, м.

Для ИВ $V_{уд} = 136/22,15 = 6,14$ м³/п.м.

Для сорокафутового КРК (тип 1AAA по международной классификации), с учётом расположения двух контейнеров на длиннорасположенной фитинговой платформе длиной 25,5 м удельный полезный объём составит $V_{уд} = (2 \cdot 68)/25,5 = 5,33$ м³/п.м.

При использовании других типоразмеров контейнеров и моделей фитинговых платформ будут использоваться разные погрузочные схемы, и значения этого параметра окажутся еще меньше – соответственно 4,67 и 3,47 м³/п.м.

Рассмотрение в сравнении полезных площадей поперечного сечения грузового помещения ИВ и КРК (рис. 6) показывает, что для контейне-

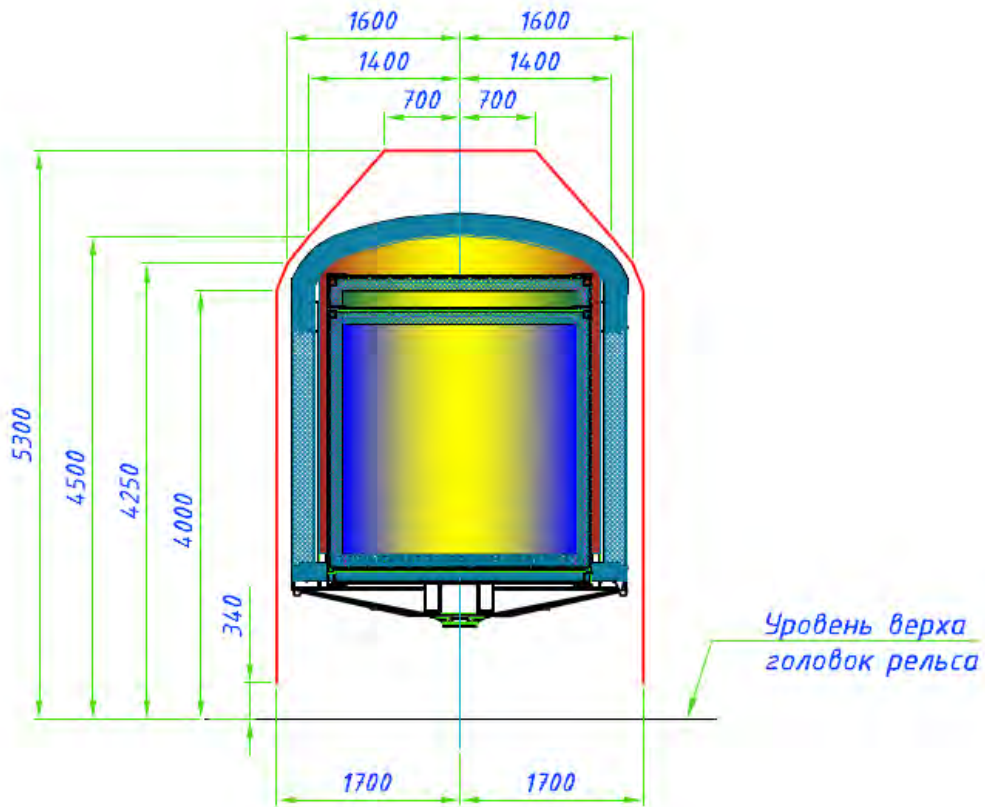


Рис. 6. Масштабное изображение размещения кузовов ИВ и КРК типов 1АА и 1ААА при вписывании в габарит 1-Т (выполнено автором).

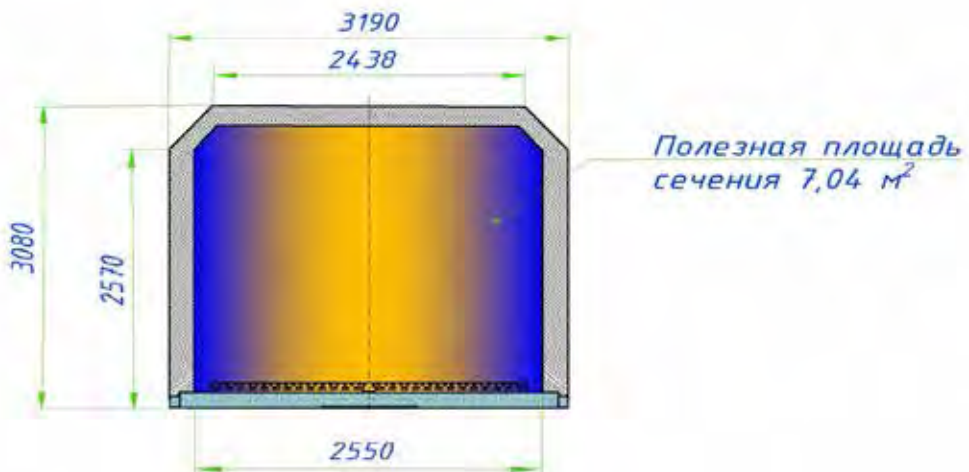


Рис. 7. Поперечное сечение изотермического съёмного кузова с толщиной теплоизоляции 200 мм (выполнено автором).



Расчётные линейные размеры кузовов различных типов изотермического подвижного состава (разработано автором)

| Тип подвижного состава | Ширина наружная, м | Ширина полезная, м | Полезное сечение, м ² | Возможная длина, м | Высота полезная, м |
|--------------------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|
| Вагон | 3,105 | 2,6 | 7,454 | 21,0 | 2,96 |
| Съёмный кузов | 3,19 | 2,55 | 7,04 | 13,71 | 2,62 |
| Крупнотоннажный контейнер 1АА | 2,438 | 2,154 | 5,232 | 12,192 | 2,212 |
| Крупнотоннажный контейнер 1ААА | 2,438 | 2,154 | 4,575 | 12,192 | 2,429 |

ра типа 1АА эта площадь составляет 61,4%, а для типоразмера 1ААА – 70,2% от полезного сечения ИВ. Это свидетельствует о том, что удельный погонный полезный объём у ИВ составит 6,14 м³/п.м. против 5,33 у КРК. При средней длине грузового состава 1000 м разность полезных объёмов по типам подвижного состава в этом случае составит около 810 м³, что свидетельствует о более эффективном использовании провозной способности железной дороги при использовании вагонов [13].

На рис. 6 представлено масштабное изображение размещения кузовов ИВ и КРК типов 1АА и 1ААА при вписывании в габарит 1-Т. На рис. 7 представлено масштабное поперечное сечение съёмного кузова с толщиной теплоизоляции 200 мм. Расчётные линейные размеры изотермических кузовов представлены в табл. 2.

При рассмотрении линейных размеров и полезного сечения грузового помещения различных типов изотермических кузовов видно преимущество вагонов и съёмных кузовов. Однако использование полезной длины подвижного состава для них различно. Безусловно, полное использование этого показателя осуществляется только для вагонов. При рассмотрении съёмных кузовов и крупнотоннажных контейнеров необходимо учитывать длину и тип «носителя» – фитинговых платформ различных моделей. Кроме этого допускаемые схемы погрузки и использование двух типоразмеров КРК (20 и 40-футовых) в пункте формирования контейнерного поезда приводят к ухудшению использования полезной длины поезда.

ВЫВОДЫ

В представленной стратегии и методологии развития транспортных средств для перевозки СПГ представлены задачи исследования, этапы принятия решений, а также

методы и алгоритмы реализации решений. Из проведённого анализа следует, что проблема включает не только развитие стационарной железнодорожной инфраструктуры и формирование этапов развития ИПС, но и решение организационно-технических, технологических и нормативно-правовых проблем во взаимосвязи с вопросами тарифного регулирования.

Рассмотренные на примере России показатели объёмов перевозок СПГ по видам сообщения – во внутреннем, транзите, экспорте и импорте при составлении прогнозов развития следует анализировать с учётом маршрутов эксплуатации.

Изотермические вагоны будут преобладать во внутреннем сообщении и транзите по территориям стран СНГ с одинаковой шириной железнодорожной колеи. Крупнотоннажные контейнеры будут использоваться при международном трансконтинентальном транзите и экспортно-импортных мультимодальных перевозках. Съёмные кузова находятся на начальной стадии своего внедрения, и в силу этого, несмотря на хорошие расчётные технико-экономические характеристики, они не смогут пока занять значимую позицию на внутреннем и внешнем рынках. Причины связаны, прежде всего, с неполной готовностью имеющейся инфраструктуры во внутреннем сообщении, а существенно большая ширина кузова (3,19 м против 2,438 м у КК) не позволит их использовать в мультимодальных перевозках. Также ещё не до конца решены вопросы технических параметров платформ-носителей. В любом случае окончательное решение по структуре и типу ИПС должно приниматься на основании долговременного прогнозирования развития сельскохозяйственной, рыбной и перерабатывающей отраслей и с учётом требований современных технических регламентов.

Представляется, что предложенная методология, при условии её надлежащей адаптации к конкретным условиям, во многом применима и в других странах.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Инновационные процессы логистического менеджмента в интеллектуальных транспортных системах: Монография: в 4 т. / Под общ. ред. проф. Б. А. Лёвина и проф. Л. Б. Миротина. – М.: УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте. – 2015. – Т. 2 Формирование отраслевых логистических интеллектуальных транспортных систем. – 343 с. [Электронный ресурс]: <http://umcздт.ru/books/40/225885/>. Доступ 16.04.2021.

2. Багинова В. В., Федоров Л. С., Сысоева Е. А., Кузьмин Д. В., Фен Ш., Мамаев Э. А., Рахмангулов А. Н. Логистика: Научная монография / Под общ. ред. В. В. Багиновой. – М.: Прометей, 2020. – 292 с. ISBN: 978-5-00172-071.

3. Вохмянина А. В., Журавская М. А., Петров М. Б. Многокритериальный подход для оценки и обоснования приоритетов развития транспортной сети территорий, превосходящих региональный масштаб // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2018. – № 4 (40). – С. 58–68.

4. Rodrigue, J. P., Notteboom, T. The Cold Chain and its Logistics. In: *The Geography of Transport Systems*. New York: Routledge, 2020, 456 p. [Электронный ресурс]: <https://transportgeography.org/contents/applications/cold-chain-logistics/>. Доступ 16.04.2021.

5. Прокофьев М. П., Тохиров М. М. Перспективы транспортного коридора «Север–Юг» // Мир транспорта. – 2019. – Т. 17. – № 5. – С. 200–213. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-5-200-213>.

6. Mamaev, E. A., Guda, A. N., Levin, B. A., Baginova, V. V., Vinogradov, V. V., Morozov, V. N. Strategic Trends of Cargo Turnover in Major Hubs: Assessment, Clustering and Prediction. *International Journal of Economic Perspectives*, 2017, Vol. 11, Iss. 2, pp. 585–592. ISSN:1307-1637.

7. Chislov, O., Zadorozhniy, V., Lomash, D., Chebotareva, E., Solop, I., Bogachev, T. Methodological Bases of Modeling and Optimization of Transport Processes in the Interaction of Railways and Maritime Transport. In: Macioszek, E., Sierpiński, G. (eds.). *Modern Traffic Engineering in the System Approach to the Development of Traffic Networks*. TSTP 2019. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2020, Vol. 1083. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-34069-8_7.

8. Kolesnikov, M. V., Lyabakh, N. N., Mamaev, E. A., Bakalov, M. V. Efficient and secure logistics transportation system. IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering*, Volume 918, VIII International Scientific Conference Transport of Siberia – 2020 22–27 May 2020, Novosibirsk, Russia, 012031. DOI: 10.1088/1757-899X/918/1/012031.

9. Петров М. Б. Пространственная парадигма как основа управления развитием транспортной системы // XVIII Международная научная конференция «Модернизация России: приоритеты, проблемы, решения» и другие мероприятия, проведённые в рамках общественно-научного форума «Россия: ключевые проблемы и решения».

Москва, 20–21 декабря 2018 г. // Россия: тенденции и перспективы развития: Ежегодник. – М.: Институт научной информации по общественным наукам РАН, 2019. – Вып. 14. – Ч. 1. – 937 с. – С. 187–189.

10. Petrov, M., Samuylov, V. Criterion of comparative efficiency in planning of the transport network. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, Volume 403, XII International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry 10–13 September 2019, Don State Technical University, Russian Federation, 012196. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/403/1/012196>.

11. Ворон О. А., Булавин Ю. П., Ширококов В. И. Проблемы транспортной инфраструктуры при транспортировке рыбы в современных условиях // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2016. – № 3 (36). – С. 24–32.

12. Ворон О. А., Морчилладзе И. Г. Аспекты совершенствования железнодорожных перевозок СПГ в составе непрерывной холодильной цепи // Транспорт Российской Федерации. – 2014. – № 1. – С. 24–29.

13. Ворон О. А. Актуализация технических решений для изотермического подвижного состава при перевозках скоропортящихся грузов // Вестник РГУПС. – 2020. – № 1. – С. 56–65.

14. Ворон О. А. Использование метода актуализации технических решений для создания модели функционального взаимодействия систем автономного рефрижераторного вагона // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 2. – С. 86–94.

15. Соколов А. М. Научные основы создания и оценка эффективности внедрения инновационных вагонов // Бюллетень Объединённого учёного совета ОАО «РЖД». – 2015. – № 2. – С. 1–13.

16. Ворон О. А., Петрушин А. Д., Щербаков В. Г. Автономная система электроснабжения изотермического подвижного состава // Изв. вузов. Электромеханика. – 2019. – Т. 62. – № 2. – С. 36–40. DOI: 10.17213/0136-3360-2019-2-36-40.

17. Ворон О. А. Использование сжиженного природного газа в комбинированной энергосиловой установке автономного рефрижераторного вагона // Вестник ВНИИЖТ. – 2019. – Т. 78. – № 3. – С. 188–192.

18. Некрасов Г. И., Балабин В. Н. Принципы модульности проектирования и обслуживания локомотивов // Мир транспорта. – 2019. – Т. 17. – № 2. – С. 80–90. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-2-80-90>.

19. Даукша А. С., Бороненко Ю. П. Перспективы внедрения вагонов со съёмными кузовами увеличенной грузоподъёмности // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2017. – Т. 14. – № 3. – С. 437–451.

20. Даукша А. С., Бороненко Ю. П. Выбор конструктивных решений устройств крепления контейнеров и съёмных кузовов на железнодорожных платформах // Транспорт Российской Федерации. – 2017. – № 2 (69). – С. 29–33.

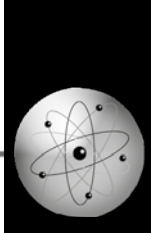
21. Кожокарь К. В. Особенности разработки скоростного сочленённого вагона-платформы для перевозки контейнеров // Транспорт Российской Федерации. – 2013. – № 3 (46). – С. 21–24. ●

Информация об авторе:

Ворон Олег Андреевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой вагонов и вагонного хозяйства Ростовского государственного университета путей сообщения (РГУПС), Ростов-на-Дону, Россия, rgups_voron@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 25.03.2021, одобрена после рецензирования 14.06.2021, актуализирована 24.06.2021, принята к публикации 28.06.2021.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ
УДК 629.459.3.01
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-2>

Анализ триботехнических свойств и сравнительная оценка полимерных материалов и резины, применяемых в подвижном составе



Михаил КУЛИКОВ



Владимир БИРЮКОВ



Антон ПРИНЦ

Михаил Юрьевич Куликов¹, Владимир Павлович Бирюков², Антон Николаевич Принц³

¹ *Российский университет транспорта, Москва, Россия.*

^{2,3} *Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН, Москва, Россия.*

✉ ³ *tosha.prints.94@mail.ru.*

АННОТАЦИЯ

В узлах трения подвижного состава железных дорог широкое применение находят материалы из резины, которые используются в сальниках, амортизаторах, различных уплотнителях, гофрах, манжетах и иных узлах. В процессе эксплуатации резина подвергается различным механическим воздействиям, которые приводят к износу, трещинам, истиранию, вмятинам, прожогам и прочим повреждениям, что может повлечь за собой отказ всего узла и непредвиденное поступление подвижного состава на неплановый ремонт. Любой отказ на линии и проведение внепланового ремонта несёт за собой большие экономические потери.

На данный момент недостаточно изучен вопрос изнашивания материалов из резины в паре трения со сталью с подачей в зону трения смазки и изнашивания свободным и закреплённым абразивом. Продолжаются исследования по возможности замены изделий из резины на другие полимерные материалы, которые после проведения трибологических испытаний имеют значительно лучшие результаты как по показателям коэффициентов трения, так и по механизму

изнашивания. Полученные данные дадут возможность выбрать наиболее оптимальные варианты материалов, которые могут выступить в качестве замены стандартным изделиям из резины в узлах трения подвижного состава.

В работе представлены результаты трибологических испытаний термопластичных полиуретанов (ТПУ), сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) и полипропилена (ПП2015) в сравнении с резиной на основе бутадиен нитрильного каучука (БНК). Испытания выполнялись по двум схемам «плоскость (исследуемый образец) – втулка» и «плоскость (исследуемый образец) – образующая поверхность резинового диска с подачей в зону трения абразивного зерна».

Целью работы является определение зависимости изменения коэффициентов трения от нагрузки и скорости скольжения, а также зависимости давлений схватывания пар трения от скорости, потери массы образцов после испытаний на износ свободным и закреплённым абразивом, морфологии поверхностей износа и механизмов изнашивания полимерных материалов и резины.

Ключевые слова: транспорт, железная дорога, подвижной состав, коэффициент трения, полимеры, демпфирующий материал, триботехнические свойства, скорость скольжения, абразивное изнашивание.

Для цитирования: Куликов М. Ю., Бирюков В. П., Принц А. Н. Анализ триботехнических свойств и сравнительная оценка полимерных материалов и резины, применяемых в подвижном составе // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 3 (94). С. 16–24. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-2>.

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

Применение и усовершенствование демпфирующих полимерных элементов напрямую связано с улучшением динамических характеристик вагонов и локомотивов во взаимодействии с верхним строением железнодорожного пути [напр., 1]. Одной из основных задач является необходимость улучшить динамические свойства упругих демпфирующих элементов.

Для повышения экономической эффективности рассматривают возможности применения демпфирующих полимерных материалов в узлах трения подвижного состава. Технические требования, предъявляемые к современным конструкциям амортизаторов для железнодорожного транспорта, обусловлены условиями их эксплуатации, которые подразумевают надёжную работу при статических, циклических и ударных нагрузках, при низких и высоких температурах, в контакте с окружающей средой, что во многом зависит от типа демпфирующего материала. Следует отметить, что, несмотря на большой опыт исследования физико-механических свойств полимеров и композиционных полимерных материалов, недостаточно изученными остаются вопросы взаимодействия полимеров в паре трения со стальными поверхностями в присутствии смазки, а также изнашивания полимерных материалов свободным и закреплённым абразивом. Поэтому требуется проведение дополнительных исследований для их сравнительной оценки. Проведено исследование [2] подшипника из композитного политетрафторэтилена (ПТФЭ) моделированием износа со стальным валом. Исследовано влияние [3] термического старения масла на фрикционные и износостойкие свойства БНК. Определено, каким образом влияет шероховатость поверхности [4] на трение и износостойкость БНК. В работе [5] выполнено моделирование и экспериментальное исследование износа поступательного гидравлического уплотнения. При набухании БНК стандартным растворителем IRM 903 [6] износ был больше по сравнению с не набухшим образцом в 1,1 раза. Определена износостойкость [7] узлов трения скважинных насосов, имеющих уплотнения из направленно армированных полимерных композитов. Графитовые политетрафторэтиленовые (ПТФЭ) и полиамидные (ПИ) композиты испытывали с инструментальной сталью со смазкой и до-

бавлением мелкодисперсного кварцевого песка [8].

Проведено экспериментальное исследование эксплуатационных характеристик высокоскоростного полимерного упорного подшипника с масляной смазкой [9]. Определено влияние давления и скорости скольжения на коэффициент трения полиуретановых эластомеров различной твёрдости при трении по стали с использованием консистентной смазки [10]. Получены [11] трибологические характеристики СВМПЭ по отношению к сплавам $TiAl_6V_4$ и $CoCr_{28}Mo$.

Целями работы является определение зависимости изменения коэффициентов трения от нагрузки и скорости скольжения термопластичных полиуретанов (ТПУ), сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) и полипропилена (ПП2015) в сравнении с резиной на основе бутадиен нитрильного каучука (БНК), а также зависимости нагрузки схватывания пар трения от скорости; определение потери массы образцов после испытаний на износ закреплённым и незакреплённым абразивом; исследование морфологии поверхностей износа и механизмов изнашивания полимерных материалов и резины.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для проведения испытаний на трение и износ выбраны образцы ТПУ 50D2S10, 60D2S10, СВМПЭ, ПП2015, БНК. Образцы представляли собой пластину с размерами $20 \times 70 \times 2$ мм, которая наклеивалась на фанеру с размерами $20 \times 70 \times 12$ мм. Трибологические испытания выполняли по схеме «плоскость (исследуемый образец) – втулка» (стальная оправка с наклеенной на её торец наждачной бумагой на основе карбида кремния с зернистостью 120 мкм или втулка стали 40Х твёрдостью HRC 49–54). Торец втулки обрабатывали на наждачной бумаге различной зернистости P180, P220, P600, P2400. Скорость скольжения и давление на образец изменялись дискретно в интервале 0,1–3,5 м/с и 2–10 МПа соответственно. В качестве смазочного материала при испытаниях полимерных образцов по стали использовали гидравлическое масло МГЕ10А с подачей в зону трения по одной капле в секунду. Испытания на износ свободным абразивом производили при трении плоского образца по образующей поверхности резинового диска. В зону трения подавался кварцевый песок с размерами частиц от 0,2



Технические характеристики ТПУ^{1, 2, 3}

| Марка материала | Твёрдость, Шор | Плотность, г/см ³ | Предел прочности, МПа | Относительное удлинение при разрыве, % |
|-----------------|----------------|------------------------------|-----------------------|----------------------------------------|
| ТПУ 50D2S10 | 52 D | 1,18 | 45,0 | 450 |
| ТПУ 60D2S10 | 60 D | 1,18 | 55,0 | 320 |
| СВМПЭ | 64 D | 0,93 | 25 | 50 |
| ПП 02015 | 70 D | 0,9 | 29 | 400 |
| БНК | 75 A | 1,3 | 25 | 425 |

¹ Официальный сайт «РТ-ЭПОФЛЕКС». Раздел «Сфера применения». Автомобиль. [Электронный ресурс]: <http://rtp.r.ru/sfera-primeneniya/>. Доступ 13.04.2021.

² Официальный сайт «Полимерная компания. Пластпроминвест». Раздел «Продукция». Балан 02015. [Электронный ресурс]: <http://ppinvest.ru/produkcija/blok-sopolimeri-propilena-etilena/balen-02015.html>. Доступ 13.04.2021.

³ Официальный сайт Торгово-производственной компании «RUBICOM». Раздел «Информация». Бутадиен-нитрильный каучук (БНК). [Электронный ресурс]: <https://www.rubicom.su/info/articles/kauchuki/butadien-nitriilnyy-kauchuk-bnks/>. Доступ 13.04.3021.

до 0,6 мм. Испытания выполняли при нормальном атмосферном давлении и комнатной температуре. Нагрузка при испытаниях составляла 15 Н, продолжительность испытания одного образца составляла 5 минут. После каждого испытания производили при помощи баллона с сухим сжатым воздухом очистку образцов от частиц абразива. Испытывали по три образца каждого материала. Потерю массы образцов определяли на аналитических весах VIBRA HT-220CE. Величина износа определялась как средняя арифметическая по трём образцам.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На рис. 1 (а – Р180, б – Р220, в – Р600, г – Р2400) представлены результаты, которые отображают зависимость коэффициента трения от давления и шероховатости поверхности кольцевого образца в зависимости от обработки наждачной бумагой и размеров абразивного зерна. Коэффициент трения БНК резко уменьшался от 0,3–0,35 до 0,2 при давлении 2 МПа (рис. 1а, б) и от 0,2–0,25 до 0,13–0,15 (рис. 1в, г). Для ПП2015 коэффициент трения также уменьшался с повышением давления и уменьшением шероховатости поверхности стали, максимальные его значения 0,08–0,14, а минимальные 0,04–0,1. Коэффициент трения СВМПЭ был более высоким по сравнению с другими материалами при максимальных значениях 0,09–0,15 и минимальных – 0,05–0,11. Полиуретаны ТПУ 50D2S10 имели более низкие коэффициенты трения по сравнению с ТПУ 60D2S10, кроме испытаний с образцами стали, обрабо-

танными наждачной бумагой Р180. Минимальные значения коэффициентов трения полиуретанов составили 0,04–0,06 для 50D2S10 и 0,05–0,08 для 60D2S10.

В целом коэффициенты трения в зависимости от давления имели тенденцию к снижению своего значения. Уменьшение шероховатости поверхности стали приводило к снижению коэффициентов трения для всех материалов с повышением давления в паре трения.

На рис. 2 (а – Р180, б – Р2400) показаны закономерности изменения коэффициентов трения от скорости скольжения и шероховатости стального образца. Для всех материалов при повышении скорости скольжения от 0,2 до 0,6 м/с наблюдалось снижение коэффициентов трения. Так для БНК коэффициенты трения с максимальных значений с 0,37 и 0,22 снижались до 0,35 и 0,2 в зависимости от шероховатости поверхности стали (рис. 2а, б) соответственно. Для остальных полимеров начальные значения коэффициентов трения при обработке стали наждачной бумагой Р180 были практически одинаковы и составляли 0,14–0,15. С увеличением скорости скольжения с 0,6 до 1,3 м/с коэффициенты трения всех материалов возрастали и были выше, чем на скорости 0,2 м/с. Коэффициент трения ПП2015 имел максимальные значения 0,14–0,16 (рис. 2а) и минимальные значения 0,09–0,11 (рис. 2б). Коэффициент трения СВМПЭ имел более низкие коэффициенты трения 0,12–0,125 при скоростях скольжения 0,8–1,3 м/с (рис. 2а) и более высокие коэффициенты трения 0,09–0,11 по сравнению с другими полимерами при тех же скоростях. Это может быть связано с более высокой молеку-

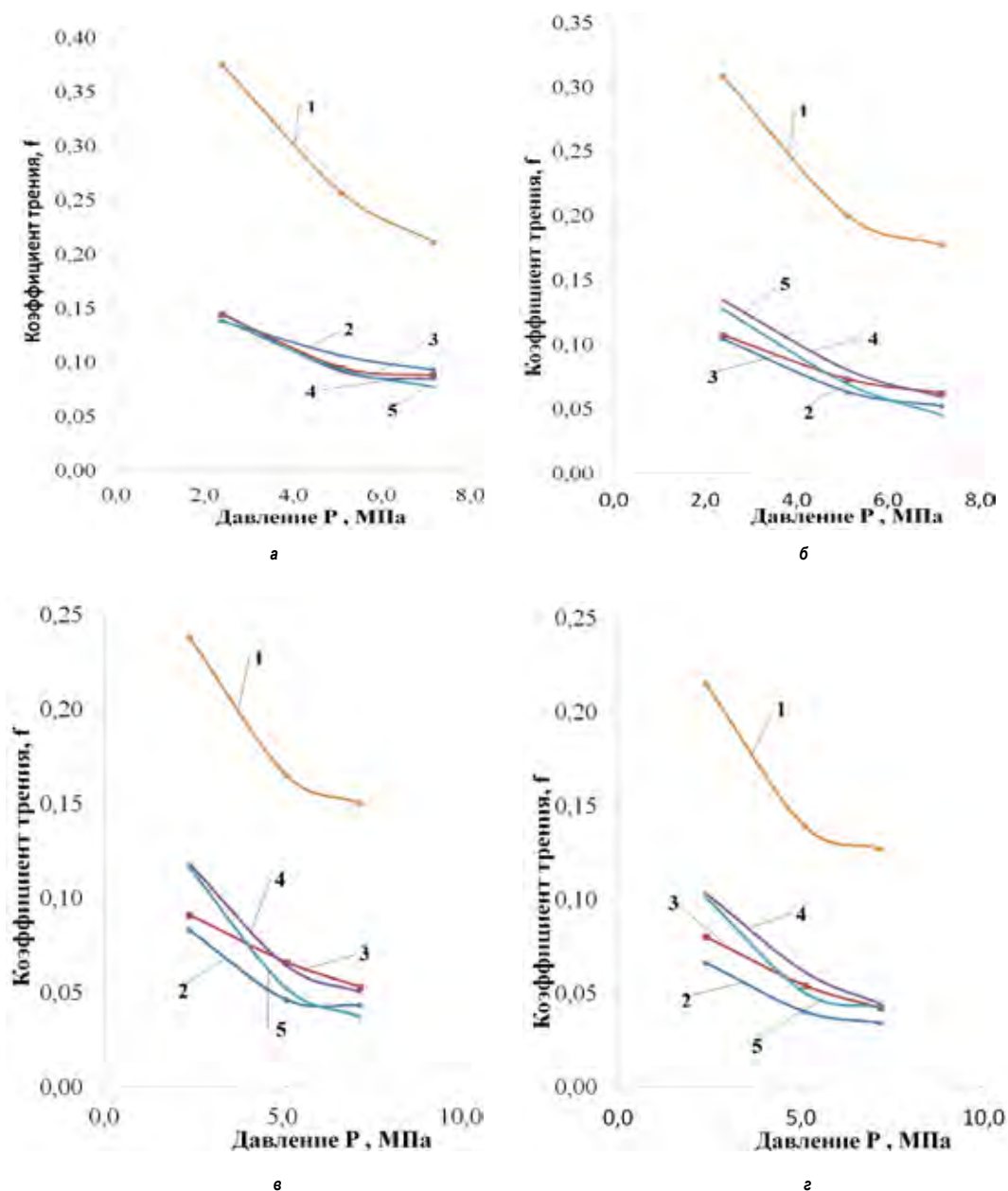


Рис. 1. Зависимости коэффициентов трения от давления по стали 40X с обработкой наждачной бумагой: а – P180, б – P220, в – P600, г – P2400. 1 – БНК, 2 – 50D2S10, 3 – 60D2S10, 4 – СВМПЭ, 5 – ПП2015 (выполнено авторами).

лярной составляющей коэффициента трения при обработке стали наждачной бумагой P2400, дающей минимальную шероховатость поверхности трения. Полиуретаны ТПУ 50D2S10 при более грубой шероховатости поверхности стали имели коэффициенты трения выше, чем 60D2S10 (рис. 2а). При более гладкой поверхности стали их коэффициенты трения имели минимальные значения 0,06–0,08, тогда как для ТПУ 60D2S10–0,07–

0,11. Для всех материалов наблюдалось повышение коэффициентов трения с увеличением скорости выше 0,6 м/с.

На рис. 3 (а – P180, б – P2400) представлены зависимости изменения нагрузки заедания от скорости скольжения. Для всех исследуемых материалов с повышением скорости скольжения нагрузка заедания снижалась. Так, для образцов БНК, при более грубой шероховатости поверхности трения стали, при давлении



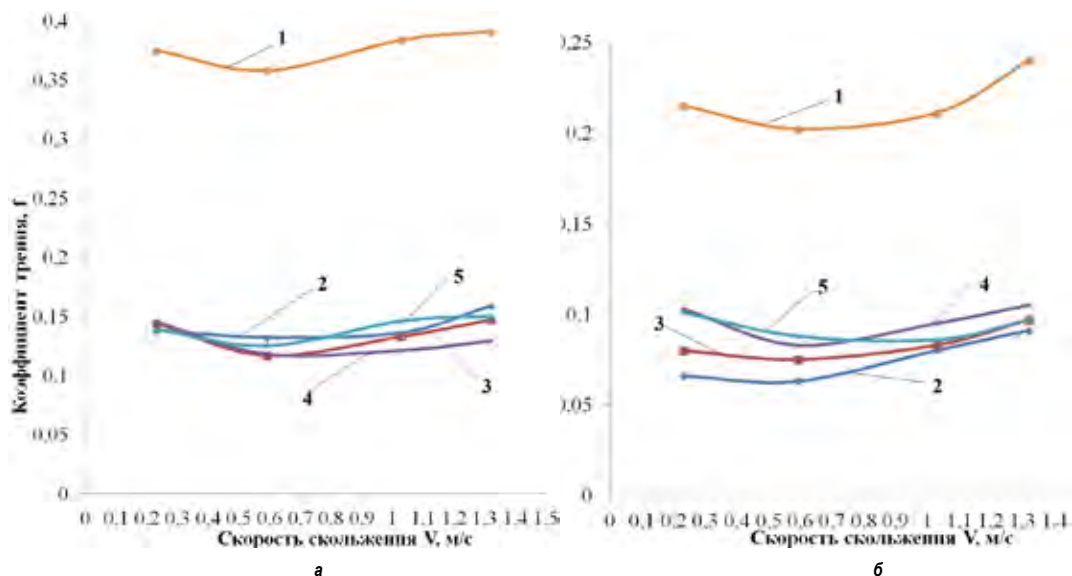


Рис. 2. Зависимости коэффициентов трения от скорости скольжения по стали 40X с обработкой наждачной бумагой: а – P180, б – P2400. 1 – БНК, 2 – 50D2S10, 3 – 60D2S10, 4 – СВМПЭ, 5 – ПП2015 (выполнено авторами).

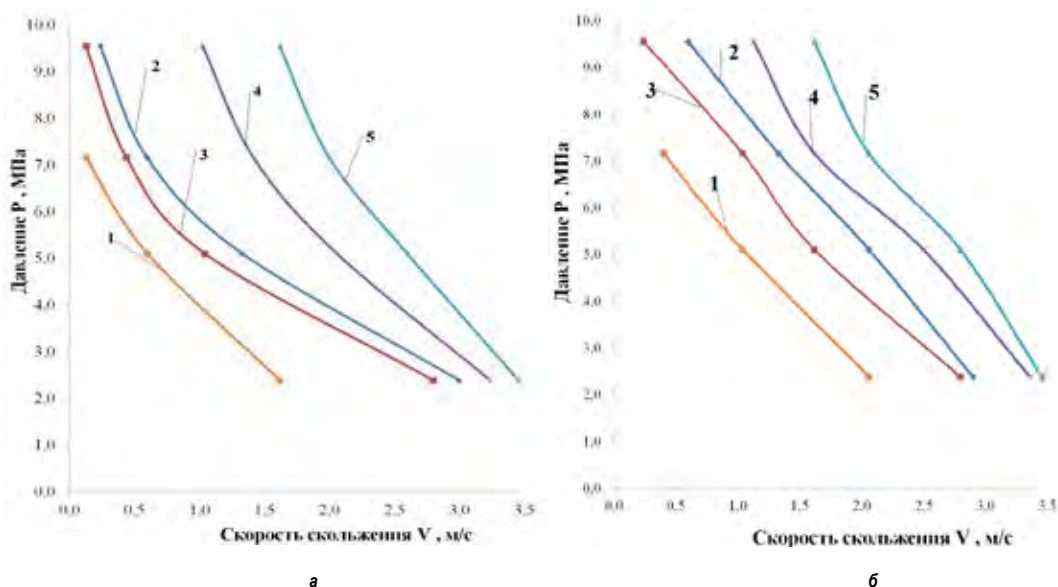


Рис. 3. Зависимости нагрузки заедания от скорости скольжения по стали 40X с обработкой наждачной бумагой: а – P180, б – P2400. 1 – БНК, 2 – 50D2S10, 3 – 60D2S10, 4 – СВМПЭ, 5 – ПП2015 (выполнено авторами).

7 МПа, заедание наступало при скорости скольжения 0,2 м/с, а при более гладкой поверхности стали происходило на скорости 0,4 м/с. Полиуретаны ТПУ 50D2S10 имели нагрузки заедания выше, чем образцы ТПУ 60D2S10 во всем диапазоне скоростей. Образцы СВМПЭ имели промежуточные нагрузки заедания между ТПУ и ПП2015. Наиболее высокие нагрузки заедания получены на об-

разцах ПП2015 независимо от шероховатости поверхности торца стальной втулки.

На рис. 4а, б представлены результаты в виде зависимостей коэффициента трения от нормального давления и скорости скольжения при испытании по закреплённому абразиву.

С повышением давления коэффициенты трения уменьшаются для всех типов полимеров и БНК. Полученные значения коэффициентов

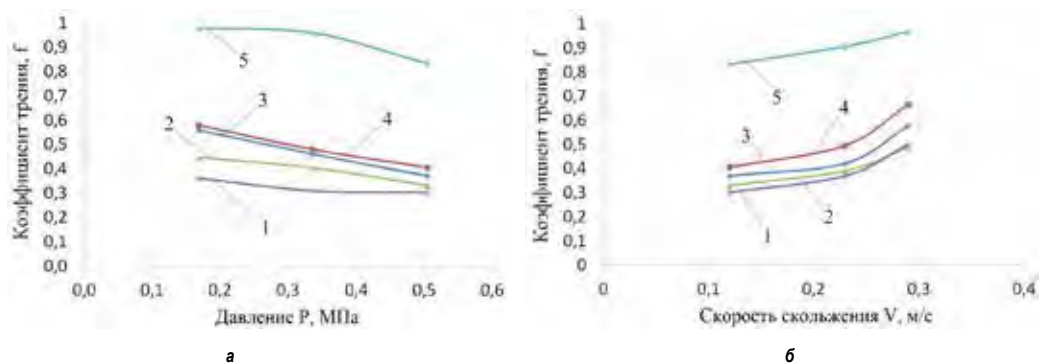


Рис. 4. Зависимость коэффициентов трения полимеров от давления (а) и скорости скольжения (б) по закреплённому абразиву: 1 – ПП2015, 2 – СВМПЭ, 3 – 50D2S10, 4 – 60D2S10, 5 – БНК (выполнено авторами).

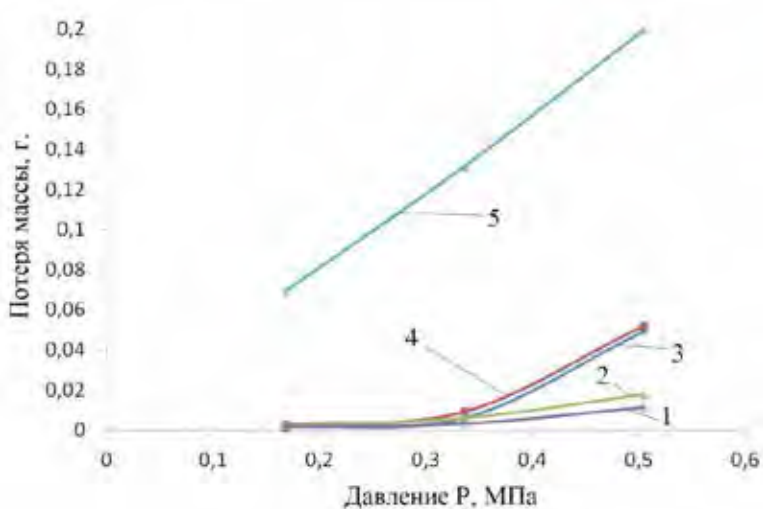


Рис. 5. Зависимость потери массы полимеров от давления при испытании по закреплённому абразиву: 1 – ПП2015, 2 – СВМПЭ, 3 – 50D2S10, 4 – 60D2S10, 5 – БНК (выполнено авторами).

трения можно расположить по мере их увеличения в следующем порядке: 0,3–0,36 для ПП2015, 0,33–0,44 для СВМПЭ, 0,38–0,55 для 50D2S10, 0,4–0,58 для 60D2S10 и 0,85–0,98 для БНК. Повышение скорости скольжения с 0,12 до 0,23 м/с приводило к незначительному росту коэффициентов трения для исследуемых полимеров. Так для ПП2015 и СВМПЭ он увеличивался с 0,32 до 0,36. При дальнейшем увеличении скорости до 0,3 м/с коэффициент трения составил 0,5 и 0,49 для ПП2015 и СВМПЭ соответственно. Коэффициент трения резины БНК 0,8–0,9 возрастал пропорционально во всем диапазоне скоростей скольжения.

На рис. 5. показаны потери массы образцов от изменения величины давления в контакте при испытаниях.

Для резины БНК потеря массы увеличивалась пропорционально давлению. Износ образцов ТПУ при низких давлениях до 0,34 МПа незначителен, при дальнейшем увеличении давления до 0,54 МПа для 50D2S10, 60D2S10 возрастает с 0,01 до 0,04 г. Минимальная потеря массы получена для полипропилена ПП2015. На рис. 6 приведена морфология поверхностей трения образцов.

Поверхности трения полипропилена ПП2015 и СВМПЭ с минимальной величиной изнашивания 0,003 и 0,004 г соответственно не имели глубоких рисок или канавок в направлении скольжения закреплённого абразивного зерна. Волнистость поверхности свидетельствует о постепенном накоплении повреждений и отделении частиц износа по



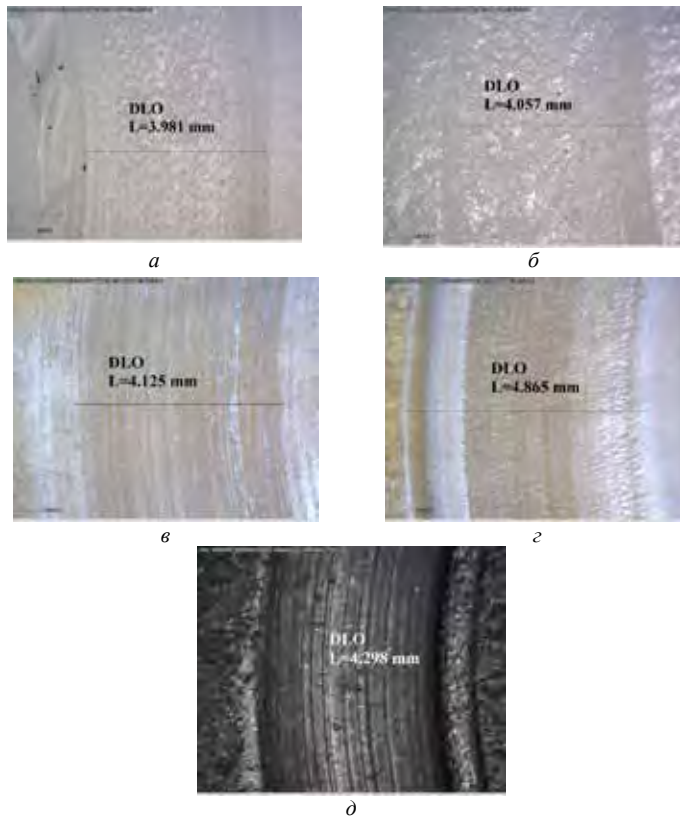


Рис. 6. Морфология поверхностей трения полимеров и резины БНК при испытании по закреплённому абразиву: а – ПП2015, б – СВМПЭ, в – 50DS210, г – 60DS2010, д – БНК (выполнено авторами).

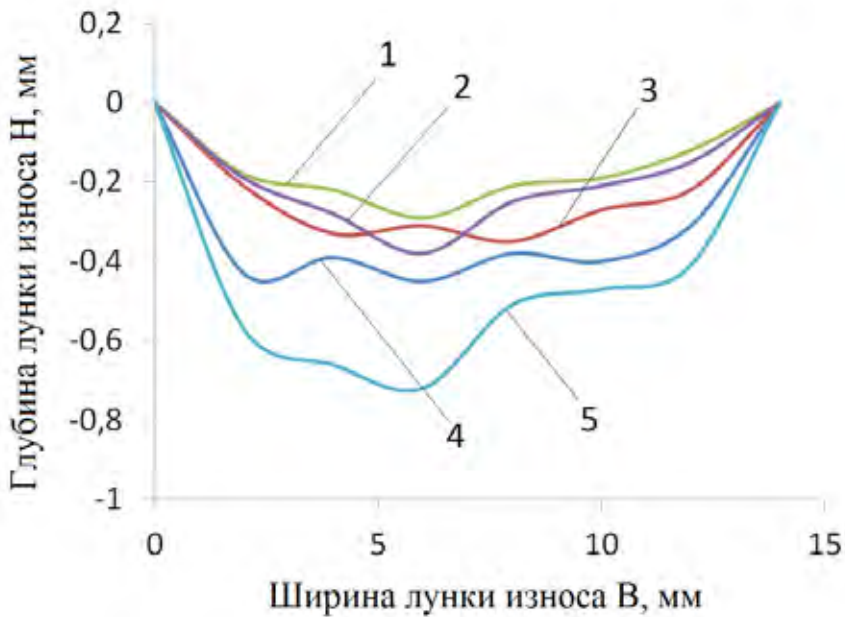


Рис. 7. Профили лунок износа материалов: 1 – 50DS210, 2 – 60DS2010, 3 – СВМПЭ, 4 – ПП2015, 5 – БНК (выполнено авторами).

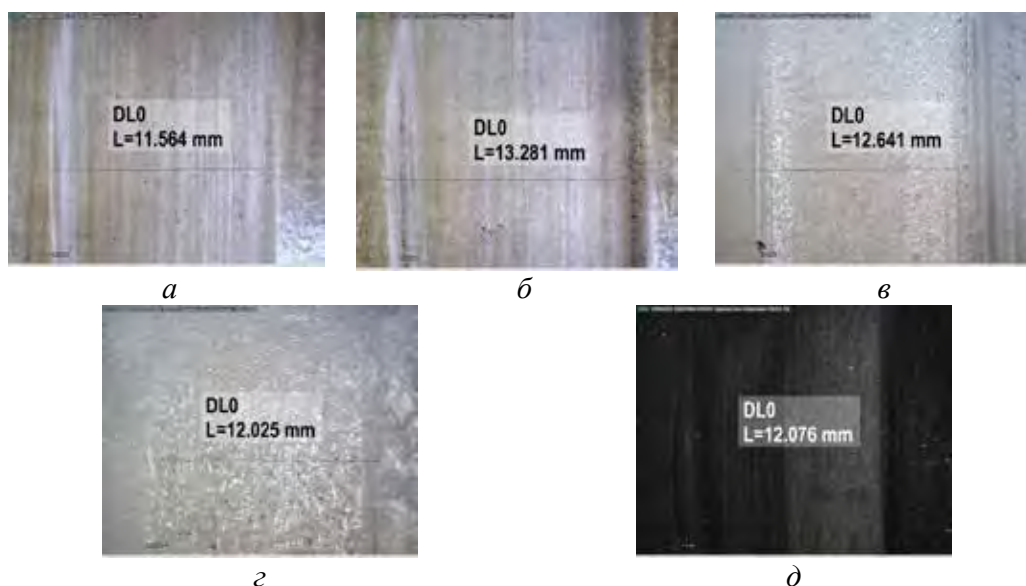


Рис. 8. Фрагменты лунок износа материалов при трении по свободному абразиву.

усталостному механизму. Поверхности трения образцов 50DS210 и БНК на всем протяжении имели риски в направлении скольжения. Можно предположить, что преобладающим режимом изнашивания было микрорезание. У образцов 60DS2010 высота волн была минимальная, а характер изнашивания можно отнести к усталостному механизму износа при трении по закреплённому абразивному зерну.

На рис. 7 показаны профили лунок износа полимерных материалов и БНК при испытании незакреплённым абразивом.

В отличие от испытаний закреплённым абразивом минимальную потерю массы показали образцы ТПУ50DS210 и 60DS2010. Образцы СВМПЭ переместились на третье место. Наибольшую потерю массы показали образцы ПП2015 и БНК соответственно. На рис. 8 представлены фрагменты лунок износа материалов при трении по свободному абразиву.

Поверхности трения 50DS210, 60DS2010 и БНК имели продольные риски в направлении скольжения абразивного зерна, и механизм изнашивания можно отнести к микрорезанию. Волнистость поверхности образцов СВМПЭ и ПП2015 свидетельствует о постепенном накоплении повреждений и отделении частиц износа по усталостному механиз-

му. Различные результаты испытаний при трении свободным и закреплённым абразивным зерном свидетельствуют о том, что наждачная бумага при испытании ТПУ ПП2015 за счёт адгезии покрывалась полимерными частицами и интенсивность изнашивания и коэффициент трения снижались. Для полимеров 50DS210, 60DS2010 минимальная потеря массы при трении свободным абразивом свидетельствовала о том, что их твердость выше, чем резинового диска, и часть абразивных частиц просто вдавливалась в образующую поверхность диска. Несмотря на различные результаты оба метода испытаний дополнили друг друга и дали полную характеристику полимерных материалов, эксплуатируемых в узлах машин и механизмов, когда возможно воздействие на поверхности трения закреплённым и свободным абразивным зерном.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ проведённых зарубежными авторами исследований показывает тенденцию к расширению применения полимерных материалов в парах трения со сталями в присутствии жидких и пластичных смазочных материалов. Образцы БНК уступают по всем показателям полиуретанам ТПУ, СВМПЭ и ПП2015. В настоящее время в значительном количестве узлов трения подвижного состава



применяются резиновые уплотнения, амортизаторы, прокладки, гофры, которые могут быть успешно заменены на более надёжные материалы, обладающие низкими коэффициентами трения и более высокими нагрузками заедания по сравнению с БНК. Применение ТПУ, СВМПЭ и ПП2015 позволит повысить надёжность и ресурс работы узлов трения подвижного состава. Материалы типа ТПУ 50DS210, 60DS2010 и СВМПЭ могут быть применены в дальнейшем в узлах трения в качестве замены резиновых изделий для изготовления манжет, сальников, прокладок и гофр. Полипропилены типа ПП2015 возможно использовать вместо резины в панелях управления, поворотных механизмах и устройствах внутри подвижного состава.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получены закономерности изменения коэффициентов трения полиуретанов 50D2S10, 60D2S10, СВМПЭ и ПП2015 от давления и скорости скольжения, которые показали, что эти материалы превосходят БНК независимо от шероховатости поверхности стали 40X. Нагрузка заедания предлагаемых полимерных материалов выше, чем у БНК, во всем диапазоне исследованных нагрузок и скоростей.

По результатам испытаний закреплённым и свободным абразивом получены закономерности изменения коэффициентов трения и потери массы образцов от давления. Коэффициент трения полипропилена ПП2015 имел значения 0,3–0,36, тогда как для БНК в 2,5 раза больше и составлял 0,85–1,0 при трении по закреплённому абразиву. Устойчивый результат по относительной потере массы показали образцы СВМПЭ при испытании свободным и закреплённым абразивом. Наименьший износ имели образцы ПП2015 и 50DS210, 60DS2010 при трении по закреплённому и свободному абразиву соответственно.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Курзина Е. Г. Совершенствование демпфирующих упругих полимерных элементов ходовых частей грузового вагона // Дис... канд. техн. наук. – М.: МИИТ, 2019. – 228 с.
2. Tao, Guan; Zhipeng, Hui; Yong, Gao; Kun, Yang. Condition monitoring of PTFE composite material bearing through the correlation between lubricant condition and wear simulation. Fourth International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS), 2017, pp. 1028–1033. DOI: 10.1109/ICTIS.2017.8047896.
3. Bingqi, Jiang; Xiaohong, Jia; Zhugang, Wang; Tao, Wange; Fei, Guo; Yuming, Wang. Influence of Thermal Aging in Oil on the Friction and Wear Properties of Nitrile Butadiene Rubber. Tribology Letters, 2019, pp. 67–86. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11249-019-1201-8>.
4. Dong, Feng; Ming-xue, Shen; Xu-dong, Peng; Xiang-kai, Meng. Surface Roughness Effect on the Friction and Wear Behaviour of Acrylonitrile–Butadiene Rubber (NBR) Under Oil Lubrication. Tribology Letters, 2017, pp. 65–10. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11249-016-0793-5>.
5. Angerhausen, J., Woyciniuk, M., Murrenhoff, H. [et al]. Simulation and experimental validation of translational hydraulic seal wear. Tribology international, 2019, Vol. 134, pp. 296–307. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.01.048>.
6. Balasooriya, W., Schrittester, B., Chao, Wang; Hausberger, A., Pinter, G., Schwarz, T. Tribological Behavior of HNBR in Oil and Gas Field Applications. Lubricants, 2018, pp. 6–10. DOI: <https://doi.org/10.3390/lubricants6010020>.
7. Krasnyi, V.A., Maksarov, V.V. Improving wear resistance of friction assemblies of oil-well pumps having seals from directionally reinforced polymer composites. Chemical and Petroleum Engineering, 2017, Vol. 53, pp. 121–125. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-017-0306-x>.
8. Gheisari, R., Polycarpou, A.A. Tribological performance of graphite-filled polyimide and PTFE composites in oil-lubricated three-body abrasive conditions. Wear, 2019, pp. 436–437, 203044. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.203044>.
9. Jie, Zhou; Blair, B., Argires, J. [et al]. Experimental Performance Study of a High Speed Oil Lubricated Polymer Thrust Bearing. Lubricants, 2015, Vol. 3, pp. 3–13. DOI: <https://doi.org/10.3390/lubricants3010003>.
10. Capanidis, D., Sokolska, J. Effect of pressure and sliding speed on the friction coefficient of polyurethane elastomers (EPUR) of different hardness during their friction on steel when lubricating with grease. Tribologia, 2019, Vol. 5, pp. 33–41. DOI: 10.5604/01.3001.0013.6559.
11. Guezmil, M., Bensalah, W., Mezlini, S. Tribological behavior of UHMWPE against TiAl₆V₄ and CoCr₂₈Mo alloys under dry and lubricated conditions. Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, 2016, Vol. 63, pp. 375–385. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmbm.2016.07.002>.
12. Принц А. Н., Бирюков В. П. Исследование трибологических характеристик полимерных материалов при абразивном изнашивании // XXXII Международная инновационная конференция молодых учёных и студентов по проблемам машиноведения: Сб. трудов конференции. – М., 2021. – С. 228–234. ●

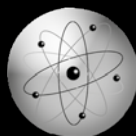
Информация об авторах:

Куликов Михаил Юрьевич – доктор технических наук, профессор Российского университета транспорта, Москва, Россия, тик.56@mail.ru.

Бирюков Владимир Павлович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Института машиноведения им. А. А. Благонравова Российской академии наук, Москва, Россия, laser-52@yandex.ru.

Принц Антон Николаевич – младший научный сотрудник Института машиноведения им. А. А. Благонравова Российской академии наук, Москва, Россия, tosh.a.prints.94@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 13.04.2021, одобрена после рецензирования 15.06.2021, принята к публикации 27.06.2021.



Феррозонды в бортовых системах взвешивания большегрузных самосвалов



Анатолий НИКИШЕЧКИН



Лев ДУБРОВИН



Владимир ДАВЫДЕНКО

Анатолий Петрович Никишечкин¹, Лев Михайлович Дубровин², Владимир Иванович Давыденко³

¹ МГТУ «Станкин», Москва, Россия.

² Российский университета транспорта, Москва, Россия.

³ Московская железная дорога – филиал ОАО «РЖД», Москва, Россия.

✉ ¹ anatolij-petrovich@yandex.ru.

АННОТАЦИЯ

В статье приводится обзор результатов исследования авторами возможности использования напряжённости магнитного поля, создаваемой тяговыми двигателями постоянного тока, в качестве полезного сигнала, несущего информацию о массе перевозимого карьерным самосвалом груза.

Целью исследований являлся поиск способа определить массу груза карьерного самосвала. В отличие от имеющихся бортовых систем взвешивания изучена возможность создания компактного автономного устройства, которое не требует встраивания датчиков в конструкцию и электрические цепи грузовика.

Рассматриваются проблемы повышения эффективности измерительных устройств на базе феррозондовых преобразователей с целью использования их в качестве бортовых систем оценки массы груза. Увеличить чувствительность феррозонда можно за счёт увеличения как амплитудного, так и действующего значения напряжения, подаваемого на его обмотку возбуждения. Предлагаемая оригинальная схема запитки обмотки возбуждения феррозонда от генератора модулированных сигналов, выполненного на логических элементах, позволяет повысить напряжение, подаваемое на обмотку возбуждения феррозонда, без увеличения напряжения питания, за счёт увеличения выбро-

сов напряжения на фронтах прямоугольных модулированных импульсов высокой частоты, а также за счёт резонансных явлений. Использование такого генератора исключает влияние обмотки возбуждения феррозонда на частоту генератора, так как рабочей частотой феррозонда становится частота модулирующих сигналов, которая остается неизменной. Повышение чувствительности даёт возможность устанавливать датчик в любом удобном месте кабины самосвала, а не в непосредственной близости от тяговых двигателей.

Оценка массы груза осуществляется в процессе движения самосвала по контрольному участку пути. Показания снимаются с амперметра (миллиамперметра), шкала которого предварительно оттарирована в единицах массы. Измерения массы должны производиться при тех же режимах движения самосвала и с тем же расположением феррозонда, что и при тарировании шкалы измерительного прибора. Контрольный участок пути, на котором проводятся измерения, должен быть тем же или аналогичным тому, на котором тарировался измерительный прибор.

Предлагаемое устройство отличается простотой использования, характеризуется малым потреблением энергии, компактно, не содержит дорогостоящих элементов и не требует тщательного обслуживания.

Ключевые слова: транспорт, бортовые системы взвешивания, масса груза, карьерный самосвал, тяговые двигатели постоянного тока, напряжённость магнитного поля, феррозонды.

Для цитирования: Никишечкин А. П., Дубровин Л. М., Давыденко В. И. Феррозонды в бортовых системах взвешивания большегрузных самосвалов // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 3 (94). С. 25–32. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-3>.

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

Определение массы груза большегрузного транспорта, используемого на горных предприятиях с открытым способом добычи, традиционно является важнейшей задачей, решение которой может осуществляться по-разному.

Грубая оценка степени заполнения кузова горной массой, имеющая место примерно на 95 % предприятий, предусматривает соблюдение машинистом экскаватора паспорта загрузки. Паспорт загрузки определяет для каждого типа транспортного средства порядок размещения груза и равномерность его распределения в кузове, а также необходимые параметры «шапки» загрузки [1].

Однако соблюдение требований паспорта загрузки малоэффективно для оценки массы груза из-за своей неточности. При контроле по паспорту загрузки зона «недогруз–перегруз» составляет $\pm 25\%$ и более [1, с. 132].

Для более точного измерения используют стационарные автомобильные весы. Такие весы надёжны, имеют большой запас прочности, однако требуют полного заезда грузовика на платформу, что приводит к потере времени. Кроме того, место погрузки может достаточно часто меняться. Существуют и передвижные весы, но использовать их не всегда удобно [3, с. 147].

Наиболее эффективен автоматический контроль загрузки с помощью встроенных бортовых систем. Бортовые системы взвешивания (БСВ) используют специальные датчики, например, датчики давления и тензодатчики [4].

Наиболее часто на карьерных самосвалах применяют бортовые системы, определяющие массу груза по установившимся значениям давления газа в цилиндрах подвески. Эти системы достаточно просты в установке, но применяются они только для автомобилей с пневматической подвеской на всех осях.

Недостатком таких систем является зависимость результатов измерений от вязкости масла в гидросистеме, которая меняется при изменении температуры окружающего воздуха, что, в свою очередь, влияет на давление в системе. Это вносит погрешности в показания бортовой системы взвешивания на датчиках давления. Погрешность объясняется также наличием значительных сил сухого трения в цилиндрах подвески. Некоторые производители решают проблему погрешно-

сти, вводя в электронную программу БСВ расчёт поправок [2].

В отличие от систем на основе датчиков давления, системы с тензодатчиками обеспечивают более высокую точность. Тензодатчики в бортовых системах устанавливаются между рамой и кузовом автомобиля и могут использоваться на любых автомобилях с самосвальным кузовом с любым типом подвески. Бортовые системы на основе тензодатчиков надёжны и нетребовательны в обслуживании. Однако такие системы требуют замены штатных узлов крепления кузова на узлы с тензодатчиками, что доступно только квалифицированным специалистам в заводских условиях.

Начиная с 2000 года бортовые системы взвешивания разрабатываются различными компаниями, в частности, «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ» (г. Жодино, Республика Беларусь), компанией «Вист Групп» (Москва, Российская Федерация). Системы строятся на базе бортового контроллера, осуществляющего сбор и обработку большого количества показателей работы автосамосвала [7]. Такие системы обеспечивают нормализацию загрузки в пределах $\pm 8\%$ относительно паспортной грузоподъёмности [5].

Целью проведённого авторами исследования являлся поиск способа оценки массы груза карьерного самосвала, упрощающего измерения, не требующего тщательного встраивания датчиков в элементы конструкции большегрузного транспорта. Такой способ мог бы повысить эффективность технологического процесса оценки массы груза, существенно сократить энергетические, временные и финансовые затраты без использования сложного и дорогостоящего технологического оборудования и без привлечения квалифицированного персонала.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Предлагаемое решение

Предлагаемое решение заключается в следующем: измеряется величина напряжённости магнитного поля, создаваемого тяговыми двигателями постоянного тока карьерного самосвала. Так, самосвал БелАЗ-75121 использует тяговые двигатели ДК-722Е. Это коллекторные двигатели постоянного тока, размещаемые в ступицах колёс. Как известно, величина тока, потребляемого тяговым двигателем, определяется величиной нагрузки на



Рис. 1. Устройство феррозонда: H – поле возбуждения феррозонда, H_0 – измеряемое магнитное поле (выполнено авторами).

его вала, которая, в свою очередь, зависит от массы перевозимого груза и условий движения – скорости, особенностей данного участка пути (горка, уклон, качество дорожного полотна и др.).

Ток двигателя вызывает постоянное, медленно меняющееся магнитное поле, напряжённость которого может быть измерена. Использование в качестве диагностического параметра не тока двигателя, а напряжённости магнитного поля, создаваемого двигателем, позволяет осуществлять измерение бесконтактным способом, без вмешательства в электрические цепи [10].

В предлагаемом решении используется связь между напряжённостью магнитного поля, создаваемого двигателем постоянного тока, и нагрузкой на валу двигателя, определяющей массу самосвала.

Для измерения напряжённости магнитного поля могут использоваться различные датчики, в частности феррозонды, представляющие собой преобразователи величины напряжённости магнитного поля в величину тока. Феррозондовый метод измерения напряжённости достаточно прост, хорошо изучен и позволяет добиться необходимой точности [8; 9; 15; 16].

Двигатели большегрузных самосвалов создают достаточно сильное магнитное поле, поэтому нет необходимости установки феррозонда в непосредственной близости от двигателя или от силовых цепей питания двигателя. В качестве устройства индикации используется амперметр (миллиамперметр), шкала которого оттарирована в единицах массы.

Практически место установки феррозонда значения не имеет – важно лишь, чтобы оно

было одним и тем же – как при тарировании шкалы миллиамперметра, так и при измерениях.

Тарирование шкалы осуществляется в следующей последовательности:

1. Выбирается участок пути с определёнными параметрами, который объявляется контрольным. Например, участок с постоянным уклоном и одинаковым качеством дорожного покрытия. Желательно выбирать участок с такими параметрами, которые наиболее характерны для предполагаемого маршрута движения грузовика.

2. Осуществляется движение грузовика без груза по контрольному участку пути в определённом режиме (например, с постоянной скоростью). Время движения должно быть достаточно для снятия показания миллиамперметра, которое принимается за ноль массы груза.

3. Осуществляется движение в том же режиме по тому же участку (или аналогичному) с грузом, масса которого известна. Показания миллиамперметра будут соответствовать массе груза.

4. Действия, выполняемые в пункте 3, для более точного тарирования шкалы и исключения ошибок можно повторить с другой массой груза. При этом шкала оттарирован-

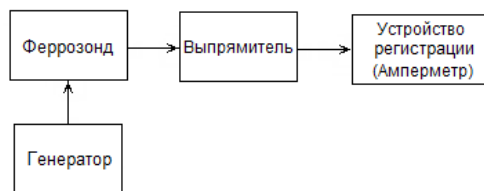


Рис. 2. Структурная схема измерительного устройства (выполнено авторами).



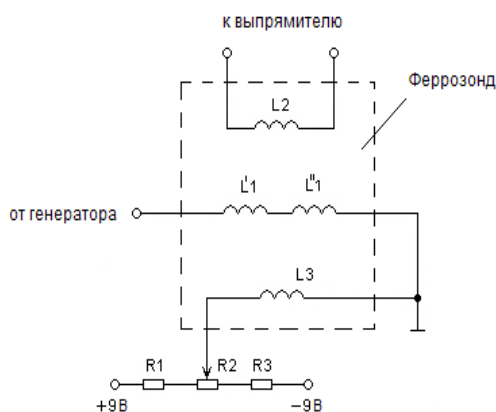


Рис. 3. Схема включения обмоток феррозонда (выполнена авторами).

ного миллиамперметра оказывается практически линейной.

Для измерения массы необходимо:

1. Обеспечить контрольный участок пути или участок, аналогичный контрольному по своим параметрам, на котором производилось бы тарирование и которому соответствует шкала измерительного прибора (миллиамперметра).

2. Обеспечить движение в течение не менее 5–10 секунд по контрольному участку с той же постоянной скоростью, на которой производилось тарирование шкалы измерительного прибора.

3. Бесконтактно произвести измерения с помощью измерительного устройства на базе феррозондового преобразователя и снять показания с измерительного прибора устройства, шкала которого предварительно оттарирована в единицах массы.

При измерении массы груза, перевозимой автомобилями одной модели, нет необходимости в тарировании шкалы измерительного прибора для каждого автомобиля в отдельности. Достаточно обеспечить лишь одинаковое место установки чувствительного элемента (феррозонда).

Его устройство следующее (рис. 1): поверх двух сердечников с обмотками L'_1 и L''_1 располагается измерительная обмотка L_2 .

Для компенсации влияния посторонних источников предусмотрена дополнительная третья обмотка L_3 , расположенная поверх основных обмоток (на рис. 1 не показана).

Структурная схема измерительного устройства, посредством которого реализуется способ, представлена на рис. 2.

Структурная схема включает:

- генератор импульсов, формирующий прямоугольные импульсы, подаваемые на обмотку возбуждения L_1 феррозонда;
- феррозонд, включающий три обмотки;
- выпрямитель;
- устройство регистрации – миллиамперметр.

Схема включения обмоток феррозонда представлена на рис. 3.

Компенсация посторонних полей осуществляется при выключенном двигателе самосвала переменным резистором R_2 установкой нулевого значения тока, измеряемого миллиамперметром. Величина резисторов R_1 и R_3 выбирается в зависимости от используемого миллиамперметра и величины напряжения.

Эксперименты показали (и это хорошо согласуется с данными литературных источников), что эффективность феррозондовых преобразователей в значительной степени определяется амплитудой, частотой и формой сигнала возбуждения; при этом прямоугольная форма сигнала даёт лучший результат по сравнению с синусоидальной или треугольной [14; 15].

Для запитки обмотки возбуждения феррозонда может использоваться простой генератор прямоугольных импульсов, схема которого представлена на рис. 4.

Схема содержит четыре логических элемента НЕ (микросхема К561 ЛН2), питающихся от источника 9 вольт. Собственно генератор – первые три элемента НЕ. Четвёртый элемент НЕ (DD1.4) полезен для исключения влияния обмотки возбуждения феррозонда на

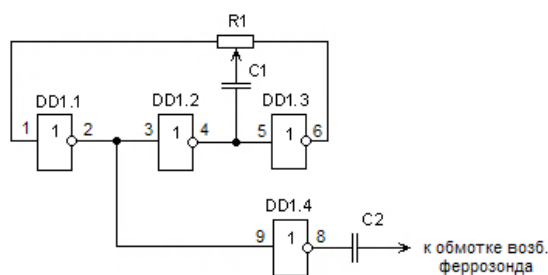


Рис. 4. Генератор прямоугольных импульсов для запитки обмотки возбуждения феррозонда (выполнено авторами).

работу генератора. Резистор R_1 и ёмкость C_1 – частотозадающие элементы. Резистор R_1 обеспечивает регулировку частоты генератора. Для описанного выше феррозонда используется частота 2 кГц. Схема простая, отличается малым потреблением мощности, позволяет обеспечить компактную и экономную реализацию и делает возможным сократить размеры измерительного устройства.

В схеме используется ёмкостная связь генератора с обмоткой возбуждения феррозонда (ёмкость C_2 на рис. 4). Это позволяет исключить постоянную составляющую сигнала генератора и, следовательно, снизить ток обмотки возбуждения и потребляемую мощность измерительного устройства [15].

Использование в качестве генератора схемы, построенной на логических элементах НЕ (рис. 4), делает измерительное устройство простым, надёжным и компактным.

Проведённые исследования показали, что чувствительность феррозонда можно увеличить за счёт увеличения напряжения (амплитудного и действующего значения), подаваемого на обмотку возбуждения от генератора. С этой целью можно использовать резонансные явления, возникающие в образовавшейся последовательной цепи: конденсатор C_2 – обмотка возбуждения феррозонда. Подбором величины ёмкости соединительного конденсатора C_2 и частоты генератора можно добиться резкого повышения чувствительности феррозонда. Это объясняется дополнительным ростом напряжения на обмотке возбуждения за счёт возникающего резонанса напряжения.

Исследования также показали, что при повышенной частоте запитки феррозонда повышается напряжение на обмотке возбуждения за счёт выбросов напряжения, возникающих на положительных и отрицательных фронтах

прямоугольных импульсов при работе генератора на индуктивную нагрузку. Но для существенного повышения напряжения (и, как следствие, чувствительности феррозонда) необходима частота запитки порядка 100 кГц и более. Однако паспортная частота феррозонда, на которой его работа наиболее эффективна, ниже этих значений.

Таким образом, для повышения чувствительности феррозонда требуется увеличивать частоту напряжения, подаваемого на обмотку возбуждения, на этой повышенной частоте добиваться резонанса напряжения, но при этом обеспечивать рабочую частоту запитки обмотки возбуждения феррозонда, заданную в паспорте.

Для увеличения частоты напряжения запитки феррозонда и сохранения требуемой паспортной частоты предлагается использовать для запитки феррозонда два генератора. Первый генератор формирует модулирующие прямоугольные импульсы, которыми запитывается обмотка возбуждения. Частота следования этих импульсов определяется рабочей частотой феррозонда. Первый генератор управляет работой второго генератора, который формирует модулируемые прямоугольные импульсы повышенной частоты. На этой частоте (при определённой величине ёмкости соединительного конденсатора) реализуется резонанс напряжения и становится заметно влияние выбросов напряжения на амплитудное и действующее значение напряжения импульса, формируемого первым генератором. При этом высокочастотные импульсы второго генератора имеют место только в моменты наличия импульсов первого генератора.

Доработанная схема запитки обмотки возбуждения приобретает вид, показанный на рис. 5.



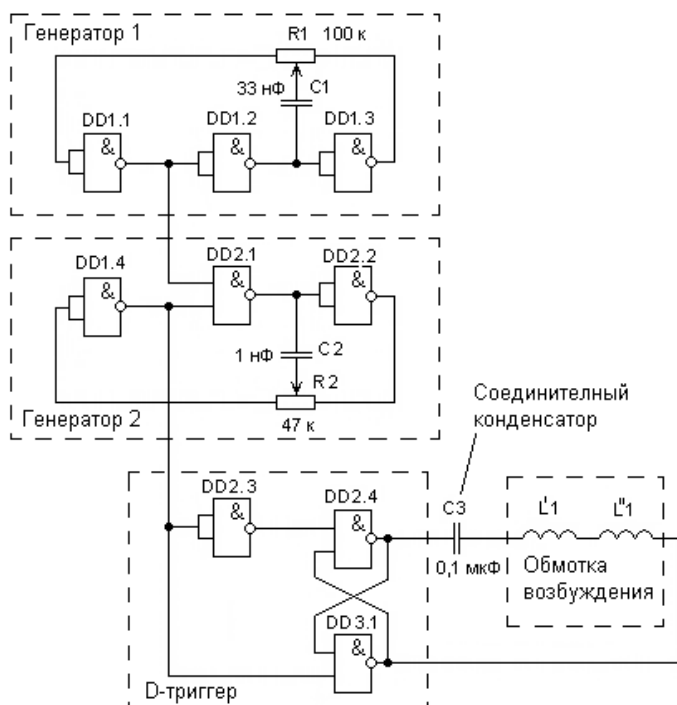


Рис. 5. Доработанная схема запитки обмотки возбуждения феррозонда (выполнена авторами).

Генератор 1 и генератор 2 однотипные, оба выполнены на трёх элементах 2И-НЕ микросхемы 564ЛА7. Амплитуды формируемых ими импульсов определяются напряжением питания генераторов. Элементы R , C генераторов задают необходимые частоты. Переменное сопротивление $R1$ генератора 1 обеспечивает настройку модулирующих импульсов на рабочую частоту, указанную в документации на феррозонд. Переменное сопротивление $R2$ генератора 2 задаёт высокую частоту модулированных импульсов, обеспечивающую резонанс напряжения на обмотке возбуждения. Величина ёмкости соединительного конденсатора $C3$ при этом, как правило, не превышает 0,1 мкФ.

На рис. 6 представлены временные диаграммы напряжений, поясняющие назначение и работу отдельных частей схемы, показанной на рис. 5.

На частотах 100–200 кГц модулированных импульсов заметно сказывается влияние выбросов напряжения (на рис. 6 не показаны), имеющих место при работе на индуктивную нагрузку, на величину как амплитудного, так и действующего значения напряжения на обмотке возбуждения феррозонда.

Длительность выбросов невелика и составляет единицы микросекунд, однако амплитуда их может в несколько раз превышать напряжение в прямоугольном импульсе. А на повышенной частоте следования модулированных импульсов их длительность становится соизмеримой с длительностью самих импульсов и влияние выбросов на напряжение обмотки возбуждения значительно увеличивается.

Дальнейшее увеличение частоты свыше 200 кГц нежелательно, так как приводит к заметному повышению потребляемой мощности.

В схеме на рис. 5 напряжение с выхода генератора 2 подаётся на обмотку возбуждения через D -триггер. Это даёт возможность получить двуполярную форму напряжения с удвоенным размахом напряжения, что также увеличивает чувствительность измерительного устройства. Кроме того, при использовании триггера уменьшается влияние обмотки возбуждения феррозонда на работу генератора.

Такая доработка схемы генератора позволяет заметно увеличить чувствительность феррозондового преобразователя без увеличения напряжения источника питания.

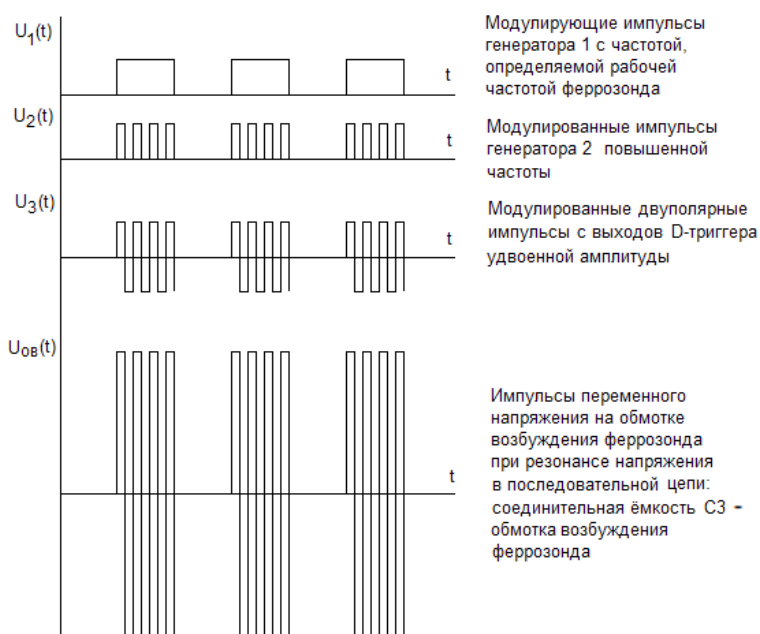


Рис. 6. Временные диаграммы напряжений (выполнено авторами).

Экспериментальная проверка

В экспериментах использовался феррозонд, имеющий следующие обмоточные данные:

- Диаметр провода обмотки возбуждения 0,3 мм, число витков каждой половины обмотки возбуждения 200. Намотка однослойная, виток к витку. Подключается к генератору импульсов.

- Измерительная обмотка: число витков 2000, диаметром провода 0,1 мм. Обмотка многослойная, виток к витку. Измерительная обмотка подключается через выпрямитель к устройству регистрации, в качестве которого используется амперметр постоянного тока (миллиамперметр).

- Диаметр провода дополнительной обмотки 0,1 мм, число витков 500.

Для защиты феррозонда от посторонних внешних воздействий использовался защитный кожух, представляющий собой трубку из латуни [14].

Экспериментальная проверка проводилась авторами на Экибастузском угольном бассейне (разрез «Северный») с большегрузными самосвалами БелАЗ-75121, использующими тяговые двигатели ДК-722Е. Эксперимент показал практически полное совпадение значения массы груза, полученного

с помощью феррозондового измерительного устройства, со значением, измеренным на автомобильных весах. Также экспериментально установлено, что показания измерительного устройства не зависят от неровности дорожного полотна. Кроме того, не требуется строгого соответствия измерительного участка пути участку, на котором производилось тарирование измерительного прибора. Главное обеспечить аналогичный уклон пути, а также ту же скорость без резких рывков и торможений.

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕЗУЛЬТАТ И ВЫВОДЫ

Предлагаемый бесконтактный способ измерения массы груза исключает необходимость встраивания датчиков в элементы конструкции и в электрические цепи автомобиля, не требует сложного технологического оборудования, снижает время и затраты на измерения, обеспечивая при этом достаточную точность.

Измерительное устройство с феррозондом и с миллиамперметром может быть установлено практически в любом месте машины, что обеспечивает удобство фиксации результатов измерения.

Предлагаемый способ отличается простотой использования. Устройство, реали-



зующее способ, характеризуется малым потреблением энергии, компактно, не содержит дорогостоящих элементов и не требует тщательного обслуживания. Подготовка устройства к работе заключается в тарировании шкалы измерительного прибора (миллиамперметра) в единицах массы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Файнвлит М. А., Ильвульдин Д. Х. Обоснование паспорта загрузки автосамосвалов HD-1200 и Cat-785 на Удачинском ГОКе // Горный журнал. – 2000. – № 7. – С. 49–51.
2. Дьяков В. А. Транспортные машины и комплексы открытых разработок. – М.: Недра, 1986. – 344 с.
3. Васильев М. В. Транспортные процессы и оборудование на карьерах. – М.: Недра, 1986. – 240 с.
4. Кулешов А. А., Семёнов М. А. Эффективность и перспективы применения бортовых систем контроля загрузки и учёта работы карьерных автосамосвалов // Горные машины и электромеханика. – 2000. – № 3. – С. 35–38.
5. Семёнов М. А., Большунова О. М. Повышение точности взвешивания массы груза в кузове карьерного автосамосвала // Горное оборудование и электромеханика. – 2009. – № 9. – С. 39–41.
6. Семёнов М. А., Большунова О. М. Контроль загрузки карьерных автосамосвалов // Записки Горного института. – СПб. – 2008. – Т. 178. – С. 143–145.
7. Руденко В. А., Клебанов А. Ф. Опыт применения бортовых контроллеров на карьерных самосвалах «БелАЗ» // Горная промышленность. – 2002. – № 6. – С. 38–39.
8. Афанасьев Ю. В. Феррозондовые приборы. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 188 с.
9. Миловзоров В. П. Электромагнитные устройства автоматики. – М.: Высшая школа, 1974. – 414 с.
10. Никишечкин А. П., Дубровин Л. М., Давыденко В. И. Двигатель постоянного тока как источник диагностической информации // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2016. – № 7. – С. 53–58. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26700269>. Доступ 24.12.2020.
11. Никишечкин А. П., Дубровин Л. М., Давыденко В. И. Измерение массы груза подъёмно-транспортных устройств по параметрам магнитного поля, создаваемого двигателем постоянного тока // Вестник МГТУ «Станкин». – 2016. – № 1. – С. 64–67.
12. Никишечкин А. П., Дубровин Л. М. Оперативное определение силы резания по параметрам магнитного поля, создаваемого двигателем постоянного тока привода главного движения // Вестник МГТУ «Станкин». – 2015. – № 4. – С. 42–45. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25286530>. Доступ 24.12.2020.
13. Баранова В. Е. Измерение слабого магнитного поля на основе феррозондового датчика / Дис... канд. техн. наук: 05.11.01. – Томск, 2015. – 134 с.
14. Дубровин Л. М., Никишечкин А. П., Давыденко В. И. Способ оценки массы железнодорожного состава // Мир транспорта. – 2016. – Т. 14. – № 2 (63). – С. 48–55. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/909/1185>. Доступ 24.12.2020.
15. Дубровин Л. М., Никишечкин А. П., Давыденко В. И. Повышение эффективности измерительных устройств на базе феррозондовых преобразователей // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2018. – № 2. – С. 28–33. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32607744>. Доступ 24.12.2020.
16. Никишечкин А. П., Дубровин Л. М., Давыденко В. И. Частотометрический способ построения измерительных устройств на базе феррозондового преобразователя // Вестник МГТУ «Станкин». – 2019. – № 4 (51). – С. 28–31. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41866485>. Доступ 24.12.2020.
17. Пахомов П. И., Каплина Т. Ю. Автоматическое взвешивание горной массы, перевозимой карьерным автотранспортом // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – № 5. – С. 268–274. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9484915>. Доступ 24.12.2020.
18. Nelson, L. J. A load on the road. Traffic Technol. Int. 2002. June-July. [Электронный ресурс]: <https://www.semanticscholar.org/paper/A-LOAD-ON-THE-ROAD-Nelson/dc94ac717247ec58933f8687b96bb86097d86282>. Доступ 24.12.2020.
19. Verfahren und Vorrichtung zur Ermittlung des Gewichts der Masse eines Fahrzeugs. Заявка 19963402 Германия, G 01 G19/08/Ries-Mueller Klaus; Robert Bosch GmbH. – № 19963402.5.
20. Verfahren zur Feststellung der Gewichtsbelastung einer gegenueber dem Fahrzeugaufbau gefederten, luftbereiften Fahrzeugachse. Заявка 10127567 Германия МПК7 В 60 P 5/00B 60 G 17/04 Ebert Joerg; BPW Bergische Achsen KG. – N 10127567.6; Заявл. 06.06.2001; Опубл. 12.12.2002.
21. Lenz, J. E. A Review of Magnetic Sensors. Proceeding of the IEEE, 1990, Vol. 78, Iss. 6, pp. 973–989. DOI: 10.1109/5.56910.
22. Ripka, P. Magnetic Sensors and Magnetometers. Boston: Artech house, 2001, 494 p.
23. Baschiroto, A., Dallago E., Ferr, M., Malcovati, P. A 2D Micro-Fluxgate Earth Magnetic Field Measurement Systems with Fully Automated Acquisition Setup. Measurement. 2010, Vol. 43 (1), pp. 46–53. DOI: 10.1016/j.measurement.2009.06.007.
24. Butta, M., Ripka, P. Model for coil-less fluxgate. Sensors and Actuators A: Physical, 2009, Vol. 156, Iss. 1, pp. 269–273. DOI: 10.1016/j.sna.2009.08.026.
25. Chong, Lei; Jian, Lei; Zhen, Yang; Tao, Wang; Yong, Zhou. A low power micro fluxgate sensor with improved magnetic core. Microsystem Technologies, 2012, Vol. 19, Iss. 4, pp. 591–598. DOI: 10.1007/s00542-012-1669-8. ●

Информация об авторах:

Никишечкин Анатолий Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерных систем управления МГТУ «Станкин», Москва, Россия, anatolij-petrovich@yandex.ru.

Дубровин Лев Михайлович – старший преподаватель кафедры электроэнергетики транспорта Российского университета транспорта, Москва, Россия, wellew49@gmail.com.

Давыденко Владимир Иванович – старший электромеханик технического центра автоматики и телемеханики Московской железной дороги ОАО «РЖД», Москва, Россия, vlad47mir@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 18.08.2020, одобрена после рецензирования 19.11.2020, актуализирована 27.02.2021, принята к публикации 23.04.2021.



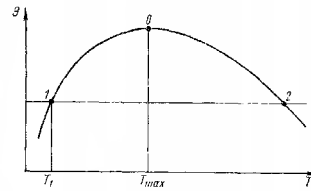
РЕГИОНАЛЬНАЯ ТРАНСПОРТНО- ЛОГИСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

34

Особенности анализа её
состояния, развития, реализации
инфраструктурных проектов
в Арктической зоне России
на примере Ямало-Ненецкого
автономного округа.



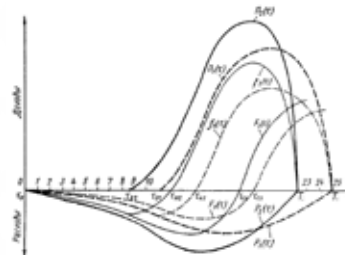
ЭКОНОМИКА



ЦЕНА ИННОВАЦИЙ

45

Внедрение комплексов технических
средств с точки зрения экономики
процесса.





Роль региональной транспортно-логистической инфраструктуры в формировании единого экономического пространства



Наталья НИКУЛИНА



Лидия АВЕРИНА

*Наталья Леонидовна Никулина¹,
Лидия Михайловна Аверина²*

*^{1,2} Институт экономики УрО РАН, Екатеринбург,
Россия.*

✉ ¹ nikulinanl@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

Цель статьи – показать значение модернизации и развития транспортно-логистической системы одного из регионов страны – Ямало-Ненецкого автономного округа (далее – ЯНАО) – для социально-экономического развития страны, реализации её экспортного потенциала и формирования единого экономического пространства.

С учётом особой роли, которую транспортный комплекс данного региона играет в освоении Арктической зоны Российской Федерации (далее – АЗРФ), проанализировано текущее состояние транспортной системы ЯНАО, показано несоответствие существующего уровня её развития потребностям экономики и населения округа, стратегическим целям развития АЗРФ и страны в целом. При проведении исследования использованы общенаучные методы, в частности анализ и синтез.

Реализация ряда крупных инфраструктурных проектов федерального уровня на территории ЯНАО требует соответствующего развития региональной транспортно-логистической инфраструктуры и решения транспортных проблем данного региона. Модернизация и развитие регио-

нальной транспортно-логистической инфраструктуры за счёт реализации инфраструктурных проектов позволит: сформировать единое связанное транспортное пространство с существенным сокращением инфраструктурных ограничений развития экономики ЯНАО; достичь необходимого уровня мобильности населения и транспортной доступности муниципалитетов для всех категорий граждан; объединить материковую и портовую инфраструктуры в единую логистическую систему за счёт реализации федеральных инфраструктурных проектов параллельно с мероприятиями по развитию существующей региональной транспортной инфраструктуры; интегрировать транспортный комплекс ЯНАО в составе транспортного комплекса Российской Федерации в мировую транспортную систему.

Формирование эффективной региональной транспортно-логистической системы в рамках соответствующей федеральной системы с учётом геостратегической специфики и геоэкономического потенциала региона позволит снять инфраструктурные ограничения на пути развития национальной экономики и экономики региона.

Ключевые слова: транспортно-логистическая инфраструктура, единое экономическое пространство, Арктическая зона Российской Федерации.

Для цитирования: Никулина Н. Л., Аверина Л. М. Роль региональной транспортно-логистической инфраструктуры в формировании единого экономического пространства // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 3 (94). С. 34–44. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-4>.

Благодарности и финансирование: Статья подготовлена в соответствии с Планом НИР для Лаборатории моделирования пространственного развития территорий Института экономики УрО РАН на 2021 год.

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

На современном этапе развития экономики Российской Федерации, с учётом необходимости ускоренного экономического роста, серьёзно усиливается роль транспортного комплекса. Задачи развития транспортной системы на данном этапе развития страны направлены на обеспечение посредством транспорта экономического роста, повышения качества жизни населения [1]. Возрастает значение одной из определяющих функций транспорта – формирование единого экономического пространства страны за счёт роста территориальной связанности государства.

Развитие и совершенствование состояния транспортно-логистической инфраструктуры в России обусловлено необходимостью ликвидации существующих ограничений для социально-экономического развития страны, вызванных определённым отставанием развития инфраструктуры транспорта от производственной сферы, наличием инфраструктурных проблем в вопросах формирования единого транспортного пространства и реализации транзитного потенциала Российской Федерации, логистическими ограничениями для экспорта российских товаров на мировые рынки [2].

Исследованиям проблем транспортно-логистической инфраструктуры посвящены работы Дж. Бауэрсокса [3], Дж. Джиани [4], С. Ю. Максимовой [5], Л. Б. Миротина [6], Т. А. Прокофьевой [7], Ж. С. Раимбекова [8] и др.

Особую роль транспортный комплекс играет в освоении Арктической зоны Российской Федерации (далее – АЗРФ), развитие которой в современных геоэкономических условиях приобретает важнейшее значение. Признание Российской Арктики не просто сырьевым придатком страны, а зоной её стратегических интересов, обуславливает возрастание роли её социально-экономического развития [9].

По мнению Я. А. Большакова, освоение арктической зоны рассматривается «не только как возможность освоения новых природных ресурсов, но и как средство запуска инновационного развития российской экономики в целом» [10].

Н. А. Комлева отмечает, что «в то время как Стратегии развитых арктических государств ориентированы, в основном, на развитие своих северных арктических территорий, Арктическая Стратегия России, кроме развития непо-

средственно АЗРФ, нацелена на решение сверхзадачи – на основе реализации потенциала Арктики способствовать модернизации экономики всей страны. Важнейший вызов состоит именно в том, чтобы использовать арктические природные ресурсы и мега-проекты для запуска процесса инновационного развития как в самой Арктике, так и в российской экономике» [11].

Кроме того, это обусловлено значительным увеличением геостратегического и экономического потенциала АЗРФ на современном этапе развития Российской Федерации [12]. Рост экономического потенциала обусловлен, в первую очередь, перспективами увеличения ресурсного потенциала Российской Арктики. Разрабатываемые месторождения углеводородов обеспечивают добычу более 80 % природного газа и 17 % нефти, добываемых в России, дополнительный прирост будет обеспечен за счёт разведанных и подготовленных к эксплуатации ряда новых месторождений Гыданского полуострова и полуострова Ямал. Стратегическим резервом развития минерально-сырьевой базы России в части углеводородного сырья являются запасы нефти и газа на континентальном шельфе Российской Федерации в Арктике. По оценкам экспертов запасы составляют 85,1 трлн куб. м природного газа, 17,3 млрд т нефти¹.

Геостратегический потенциал АЗРФ основан на возможностях уникального трансконтинентального маршрута – Северного морского пути, задачей которого является обеспечение интересов Российской Федерации на морских маршрутах, имеющих эффективное сопряжение на побережье Северного Ледовитого океана с маршрутами других видов транспорта. Подчёркивая значимость геостратегического потенциала АЗРФ и его связь с инфраструктурным развитием территории, политолог Д. Орлов отмечает, что «инфраструктурное развитие приобретает немаловажное геостратегическое измерение» [13].

Значимость задачи создания и развития эффективной транспортной инфраструктуры данного макрорегиона подчеркивается в ряде

¹ Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года. Утв. Указом Президента РФ от 26 октября 2020 г. № 645. [Электронный ресурс]: <http://garant.ru/products/ipo/prime/doc/74710556/>. Доступ 18.01.2021.



стратегических документов социально-экономического и пространственного развития РФ и в принятых правительственных документах по развитию АЗРФ. Так, в соответствии с «Основами государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года»² к числу основных национальных интересов РФ в Арктике относится развитие инфраструктуры всех видов транспорта; в качестве основных мер, направленных на реализацию «Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года»¹ выделены мероприятия по развитию всех видов транспорта в АЗРФ и транспортно-логистической системы макрорегиона. В данных стратегических документах к основным мерам в сфере развития инфраструктуры АЗРФ отнесены:

- развитие СМП пути в качестве конкурентоспособной на мировом рынке национальной транспортной коммуникации РФ;
- комплекс мер, направленных на развитие материковой и портовой инфраструктуры и объединение их в единую транспортно-логистическую систему.

Как отмечает В. С. Селин, «одной из важных задач является совершенствование транспортной инфраструктуры в регионах освоения арктического континентального шельфа в целях диверсификации основных маршрутов поставки российских углеводородов на мировые рынки» [14].

Развитие транспортно-логистической инфраструктуры АЗРФ с позиции формирования единого экономического пространства страны подробно рассмотрено в Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года³. Стратегией в качестве важнейшего направления пространственного развития определено создание единой опорной транспортной сети Российской Федерации, и ставится задача снятия инфраструктурных ограничений, в том

числе препятствующих увеличению масштабов хозяйственного освоения Арктики, а также повышению значения Северного морского пути как международного транспортного коридора. Данные инфраструктурные ограничения связаны со сложными природно-географическими и климатическими условиями, устаревшей конфигурацией транспортной сети, обусловленной очаговым характером хозяйственного освоения территории, а также технологическим и структурным отставанием в развитии транспортной инфраструктуры арктических территорий. На снижение инфраструктурных ограничений развития Российской Федерации, в том числе в северных регионах России, направлен комплекс мероприятий, представленный в Комплексном плане модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года. В транспортную часть Комплексного плана включены, в том числе, мероприятия по развитию транспортной инфраструктуры АЗРФ:

- комплекс мероприятий по развитию портовой инфраструктуры Арктического бассейна (в составе федерального проекта «Морские порты России»);
- комплекс мероприятий в составе федерального проекта «Северный морской путь».

С учётом экономического потенциала ЯНАО и его геостратегического положения, возрастает роль его региональной транспортно-логистической инфраструктуры для развития экономики страны, реализации её экспортного потенциала и формирования единого экономического пространства. Основные направления развития транспортно-логистической инфраструктуры ЯНАО с учётом национальных интересов Российской Федерации и специфики данного субъекта РФ, обозначены в пункте 23 раздела IV «Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года»¹.

Цель статьи – показать значение модернизации и развития транспортно-логистической системы Ямало-Ненецкого автономного округа как одной из территорий Арктической зоны Российской Федерации для социально-экономического развития страны, реализации её экспортного потенциала и формирования единого экономического пространства на основе анализа текущего состояния транспортной системы ЯНАО.

² Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года. Утв. Указом Президента Российской Федерации от 5 марта 2020 г. № 164. [Электронный ресурс]: <http://garant.ru/products/ipo/prime/doc/3606526/>. Доступ 18.01.2021.

³ Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года. Утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 февраля 2019 г. № 207-р. [Электронный ресурс]: <http://static.government.ru/media/files/UVA1qUiT08o60RktoOX122JjAe7irNxc.pdf>. Доступ 18.01.2021.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Общая характеристика транспортного комплекса ЯНАО и перспективы его развития

Транспортный комплекс ЯНАО обслуживает население в количестве 546,9 тыс. человек и хозяйствующие субъекты, осуществляющие деятельность на территории в 769,3 тыс. км⁴.

Особенностью данной территории является наличие богатейших природных ресурсов углеводородов, как правило, расположенных в отдалённой, труднодоступной местности с экстремальными климатическими условиями, а также её уникальное геополитическое положение, обусловленное выходом к побережью Северного ледовитого океана с его транспортной артерией – Северным морским путём.

Транспортный комплекс ЯНАО представлен следующими видами транспорта: железнодорожным, автомобильным, внутренним водным, морским, воздушным, трубопроводным. При этом транспортная инфраструктура не покрывает все потребности социально-экономического развития округа и Российской Федерации: общая плотность транспортных сетей общего пользования крайне низка, отсутствует единая опорная сеть наземного транспорта с наличием двух локальных опорных транспортных районов – Западного и Восточного, не связанных между собой наземными видами транспорта⁵. Вследствие этого разрыва связь между западными и восточными территориями округа осуществляется только посредством воздушного транспорта, поскольку:

- водные пути имеют меридиональное направление, и использование водного транспорта имеет сезонный характер;

- автодорожная сеть развита недостаточно, в её составе большое количество зимников, что также предопределяет значительный уровень сезонности в характере функционирования автотранспорта.

В основе Западного транспортного района ЯНАО лежит крупнейшая транспортная ось – река Обь с подходящей к ней в районе г. Лабытнанги веткой Северной железной дороги (стан-

ция Обская). В данном районе сформировался Салехард-Лабытнангский промышленно-транспортный узел, в котором осуществляется перевалка больших объёмов грузов с водного транспорта на железнодорожный и обратно. От станции Обская имеется железная дорога на Ямал (линия Обская–Бованенково–Карская), позволяющая доставлять грузы, необходимые для освоения месторождений полезных ископаемых. Морской транспорт Западного района базируется на морских портах Харасавэй и Сабетта, расположенных на полуострове Ямал.

Восточный транспортный район сформировался на основе железнодорожного участка Новый Уренгой–Тюмень Свердловской железной дороги, речных судоходных путей по рекам Надым, Пур и Таз с портами Надым и Коротчаево, относительно развитой сети автомобильных дорог с выходом на единую автодорожную систему страны [15].

Наличие двух локальных опорных транспортных районов (Западного и Восточного), практически не связанных между собой наземными видами транспорта, является важнейшей транспортной проблемой округа в текущий период. Другой проблемой является территориальная неравномерность в развитии наземных видов транспорта при крайне низкой средней общей плотности транспортных сетей общего пользования. Это оказывает негативное влияние на функционирование системы жизнеобеспечения населения и на обеспечение деятельности хозяйствующих субъектов. Для хозяйствующих субъектов обострение данной проблемы, наблюдаемое в последние годы, связано, в том числе, с реализацией на территории ЯНАО крупных проектов разведки, добычи и переработки углеводородов. Несовершенство региональной транспортной инфраструктуры влечёт за собой высокие транспортные издержки, затрудняет осуществление поставок продукции предприятий других субъектов Российской Федерации, необходимых для обустройства нефтегазовых месторождений, добычи углеводородов, строительства трубопроводов и пр.

Железнодорожный транспорт

Важнейшая роль в обеспечении системы жизнедеятельности населения и стабильного экономического развития ЯНАО принадлежит железнодорожному транспорту – единственному виду транспорта круглогодичного действия, используемому для массовых перевозок круп-

⁴ Информационный паспорт Ямало-Ненецкого автономного округа (данные по состоянию на 19.02.2021 г.) // Министерство иностранных дел РФ. [Электронный ресурс]: https://mid.ru/maps/ru-yan/-asset_publisher...128534/. Доступ 23.03.2021.

⁵ Это связано с очаговым характером хозяйственного освоения территории округа в период реализации программы развития газовой и нефтяной промышленности СССР в 1970–1990 гг.





нотоннажных грузов и пассажиров⁶. Развитие железнодорожного транспорта на территории округа ограничено состоянием его инфраструктуры. Общая протяжённость железных дорог по территории ЯНАО составляет 1648 км (в т.ч. находящихся в ведении ОАО «РЖД» – 496 км⁷), плотность сети более чем в восемь раз ниже среднероссийского показателя⁸. Недостаточная протяжённость железнодорожной сети, отсутствие железнодорожной связи (в том числе круглогодичной) между рядом значимых населённых пунктов округа и с соседними регионами является серьёзной проблемой для социально-экономического развития, которая осложняется особенностью конфигурации железнодорожной сети на его территории. По территории округа проходят две железнодорожные ветки, которые не связаны между собой и находятся в разных частях округа – в Западном и Восточном транспортных районах. С запада в район верховьев Оби к городу Лабитнанги подходит линия Северной железной дороги (станция Обская)⁹, которая не имеет круглогодичного транспортного перехода через реку в районе

города Салехард. Таким образом, административный центр округа (г. Салехард) не имеет круглогодичной железнодорожной связи с северо-западными регионами Российской Федерации и муниципальными образованиями ЯНАО, расположенными в восточной и южной частях округа.

Транспортный разрыв между западной и восточной частями ЯНАО будет ликвидирован в итоге реализации проекта «Северный широтный ход» (далее – СШХ), в составе которого предусматривается строительство железнодорожной магистрали по линии Обская–Салехард–Надым и железнодорожных подходов к ней. Объём перевозок по СШХ, преимущественно газового конденсата и нефтеналивных грузов, составит 23,9 млн т¹⁰. Значимость реализации указанного проекта для Ямало-Ненецкого автономного округа заключается в создании железнодорожного сообщения между всеми крупными муниципальными образованиями в ЯНАО, объединении Западного и Восточного транспортных районов ЯНАО. Снижение инфраструктурных ограничений развития региона за счёт строительства СШХ будет способствовать диверсификации экономики ЯНАО путём создания новых перерабатывающих производств, генерации рабочих мест, повышению мобильности населения и улучшению транспортного обслуживания жителей округа.

⁶ В настоящее время железнодорожный транспорт остаётся единственно доступным видом транспорта примерно для трети жителей округа.

⁷ Для ЯНАО характерна ведомственная разобщённость железных дорог, они принадлежат различным собственникам: РЖД, ЯЖДК, Газпрому.

⁸ Сайт Федеральной службы государственной статистики. [Электронный ресурс]: https://rosstat.gov.ru/free_doc/new_site/business...sv/plot. Доступ 23.03.2021.

⁹ Участок Чум–Обская протяжённостью 97 км (ответвление от Северной железной дороги на станции Воркута).

¹⁰ Кураева О. Три кита Ямала // Коммерсантъ. – 2016. – № 129. [Электронный ресурс]: <http://im.kommersant.ru>. Доступ 18.01.2021.



Для Российской Федерации проект «Северный широтный ход» имеет огромное значение. В его зоне находится 19 месторождений углеводородов и расположены предприятия производственного комплекса, созданные в процессе эксплуатации ресурсной базы данной территории. По СШХ будет транспортироваться углеводородное сырьё с северных месторождений и нефтепродукты местной переработки. Основную долю дадут грузы НОВАТЭК (8,3 млн т газового конденсата), полиэтилен и ШФЛУ (широкая фракция лёгких углеводородов) Новоуренгойского газохимического комплекса, нефть и газовый конденсат «Роспана», «Геотрансгаза» и пр.¹⁰

Реализация проекта СШХ обеспечит:

- организацию, за счёт соединения Северной и Свердловской железных дорог, кратчайшего пути для перевозок газового конденсата и нефтеналивных грузов в западном направлении, в том числе направляемых для экспорта в порты Северо-Запада, а также транзитных (в том числе экспортно-импортных) грузов предприятий Урала и Западной Сибири;

- обеспечение транспортного сообщения для доставки продукции предприятий Урала и Западной Сибири, необходимых для освоения газоконденсатных и нефтяных месторождений ЯНАО и ХМАО;

- оптимизацию загрузки существующих участков железнодорожной сети, способствующую диверсификации российской транспортной системы, разгрузке Транссиба.

Северный широтный ход – один из важнейших магистральных элементов стратегического железнодорожного каркаса России, необходимого для освоения Арктики. Два других магистральных элемента – железнодорожная линия

Обская–Бованенково¹¹ и железная дорога необходимого пользования Бованенково–Сабетта. Данные инфраструктурные проекты представляют собой единый комплексный мега-проект, реализуемый на основе межотраслевой и межрегиональной кооперации¹².

Проект строительства железной дороги Бованенково–Сабетта протяжённостью 170 км имеет особое значение для развития транспортного комплекса ЯНАО и арктической транспортной системы России¹⁰. Данная железнодорожная линия обеспечит круглогодичную транспортную связь морского порта Сабетта с континентальной инфраструктурой и с месторождениями углеводородов Бованенковской и Тамбейской групп; позволит в дальнейшем со значительно меньшими затратами приступить к освоению близлежащих к Сабетте месторождений: Салмановского (Утреннего)¹³, Западно-Северо-Тамбейского, Тасийского и Малыгинского¹⁴ и ряда других.

Дорожное хозяйство

Автодорожная сеть используется в транспортной сети ЯНАО для внутрирегиональных грузовых и пассажирских перевозок. В ЯНАО слабо развита система автодорог с твёрдым покрытием, обеспечивающая сейчас постоянную связь с общероссийской системой дорог

¹¹ Рабочее движение по новой линии было открыто 12 января 2010 года.

¹² Приоритеты и механизмы межрегиональных взаимодействий ЯНАО и Уральского макрорегиона рассмотрены в исследовании, выполненном Институтом экономики УрО РАН в рамках разработки межрегионального проекта «Арктический вектор Уральского созвездия» в 2018 г.

¹³ В рамках проекта «Арктик СПГ-2», реализуемого ОАО «НОВАТЭК».

¹⁴ Группой Газпром получены лицензии на их разработку.





только по направлению Надым–Сургут. Полноценный автомобильный выход округа на автодорожную сеть страны будет обеспечен после достройки федеральной автодороги Тюмень–Сургут–Салехард. Результатом реализации этого проекта с передачей автодороги Сургут–Салехард в федеральную собственность станет формирование транспортного коридора Москва–Екатеринбург–Тюмень–Сургут–Салехард.

Конфигурация сети автомобильных дорог регионального значения характеризуется древовидной структурой, основой которой является автомобильная дорога Сургут–Салехард с подъездами к районным центрам. Недостатком существующей конфигурации является дефицит соединительных и хордовых дорог, что наряду с другими факторами затрудняет формирование полноценной автодорожной сети.

По транспортно-эксплуатационному состоянию качество автодорог не соответствует потребностям экономики и населения в автомобильных перевозках. Общее состояние дорожного хозяйства округа характеризуется низкой плотностью автомобильных дорог общего пользования, наличием большого количества ведомственных дорог низкой технической категории.

Искусственные сооружения

В составе автомобильных дорог общего пользования регионального значения находятся 225 мостов общей протяжённостью 9148,92 п. м, что является недостаточным при наличии боль-

шого количества водных преград. Речная сеть Ямало-Ненецкого автономного округа представлена более чем 50 тыс. рек и ручьёв общей протяжённостью около 291 тыс. км (густота речной сети 0,38 км/км²)¹⁵. Постоянные мосты отсутствуют при пересечении с водными преградами на автодорогах Салехард–Лабитнанги, Надым–Старый Надым, Коротчаево–Уренгой–Тазовский. Поэтому движение на этих участках осуществляется по понтонным и паромным переправам летом, по ледовым переправам – зимой.

Отсутствие капитальных мостов, низкое качество автодорог по их транспортно-эксплуатационному состоянию, низкая плотность автодорожной сети являются факторами существенного ограничения транспортного обслуживания деятельности хозяйствующих субъектов и системы жизнеобеспечения населения округа. Таким образом, при системообразующей роли автомобильных дорог в автономном округе, их существующая сеть и её состояние отстают от требований развивающейся экономики и состояния социальной сферы ЯНАО. На решение данной проблемы направлен ряд инвестиционных проектов. Одним из самых крупных транспортных проектов в сфере дорожного хозяйства ЯНАО стало строительство автомобильной дороги Надым–Салехард,

¹⁵ Справочник водных ресурсов. Водные ресурсы Ямало-Ненецкого автономного округа. [Электронный ресурс]: <https://waterresources/region/yamal/avtonomnyy-okrug/>. Доступ 18.01.2021.

трасса которой проходит в одном коридоре с Северным широтным ходом. Строительство автодороги призвано значительно сократить инфраструктурные ограничения в регионе, способствовать комплексному освоению ресурсного потенциала ЯНАО⁴. Трасса введена в эксплуатацию в декабре 2020 года.

Воздушный транспорт

Основными предпосылками развития авиационного транспорта в ЯНАО являются отсутствие во многих муниципалитетах железнодорожного сообщения и круглогодичного автомобильного сообщения, сезонность использования водного транспорта, значительные расстояния между населёнными пунктами и промышленными объектами. В этих районах основная транспортная нагрузка приходится на авиацию, обеспечивающую связь с отдалёнными, труднодоступными населёнными пунктами: это перевозка пассажиров, почты, срочных грузов, медицинское обслуживание населения, обеспечение нужд хозяйствующих субъектов.

Важнейшим элементом инфраструктуры воздушного транспорта являются аэропорты. На территории ЯНАО находится девять аэропортов, осуществляющих приём и отправку пассажиров, почты и грузов по межмуниципальным и межрегиональным направлениям¹⁶.

Аэропорты городов Салехард, Новый Уренгой, Надым и Ноябрьск имеют взлётно-посадочные полосы с искусственным покрытием и способны принимать воздушные суда всех типов. Аэропорты в населённых пунктах Тарко-Сале, Уренгой и Толька имеют грунтовые взлётно-посадочные полосы и обслуживаются турбовинтовыми воздушными судами и вертолётами¹⁷.

На территории ЯНАО функционируют ведомственные аэропорты: в посёлках Ямбург и Бованенково (собственник и эксплуатант ООО Авиапредприятие «Газпром авиа») и международный аэропорт Сабетта (собственник – НОВАТЭК, эксплуатант ООО «Международный аэропорт Сабетта»). Ведомственные аэропорты обеспечивают вахтовые и грузовые перевозки.

¹⁶ Государственный реестр аэродромов и вертодромов гражданской авиации. Тюменское МТУ Росавиации. <https://favt.gov.ru/reestry-aerodromy-vertodromy/>. Доступ 18.01.2021.

¹⁷ О Ямале // Инвестиционный портал Ямало-Ненецкого автономного округа. [Электронный ресурс]: <https://invest.yanao.ru/>. Доступ 18.01.2021.

Основные проблемы в осуществлении аэропортовой деятельности на территории ЯНАО¹⁸:

- необходимость реконструкции взлётно-посадочных полос с искусственным покрытием в аэропортах городов Новый Уренгой и Надым в связи с высоким уровнем их физического и морального износа (до 100 %);
- значительный износ конструкций грунтовых аэродромов в населённых пунктах Красноселькуп, Толька (56 % износа), Тарко-Сале (20 % износа), с утратой в значительной мере их эксплуатационных качеств.

Вертолётные площадки¹⁸

Межмуниципальные пассажирские авиаперевозки для транспортного обслуживания населения отдалённых, труднодоступных населённых пунктов выполняются с использованием вертолётной техники. На территории автономного округа для осуществления межмуниципальных пассажирских перевозок оборудованы 22 вертолётные площадки, расположенные в населённых пунктах шести муниципальных образований (Надымский, Ямальский, Приуральский, Шурышкарский, Тазовский районы, город Лабытнанги).

Учитывая неудовлетворительное состояние большинства вертолётных площадок, признано необходимым проведение мероприятий по их реконструкции с доведением состояния до соответствия нормативным требованиям и строительство семи новых вертолётных площадок в населённых пунктах Катравож, Белоярск, Самбург, Пуровск, Халаясавэй, Толька (Пуровская), Пурпе.

Основные мероприятия, направленные на решение проблем аэропортовой деятельности, реконструкцию и строительство новых вертолётных площадок содержатся в составе государственной программы ЯНАО «Развитие транспортной инфраструктуры на 2014–2024 годы», откорректированной с учётом итогов её исполнения за период 2014–2020 гг¹⁸.

Трубопроводный транспорт

Инфраструктура трубопроводного транспорта представлена сетью трубопроводов, связывающих округ с центральными и южными

¹⁸ Государственная программа ЯНАО «Развитие транспортной инфраструктуры» (с изменениями на 11 февраля 2021 года). Утв. постановлением Правительства Ямало-Ненецкого автономного округа от 25 декабря 2013 года № 1124-П. [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/>. Доступ 23.02.2021.



регионами РФ и зарубежными странами. Её развитие связано с освоением новых месторождений и поддержанием добычи на действующих месторождениях углеводородов за счёт применения новых технологий добычи.

Речной транспорт

Речной транспорт является основным видом транспорта для многих муниципалитетов в Ямало-Ненецком округе в летний период. Речным транспортом перевозится значительный объём продуктов питания, топлива, промышленных товаров и строительных материалов, завозимых в ЯНАО из других регионов России [15]. Использование природных водных путей позволяет в определённой степени решить проблемы транспортного обслуживания населения округа и способствовать освоению отдалённых и труднодоступных для других видов транспорта новых районов добычи нефти и газа.

Основными водными артериями на территории ЯНАО являются река Обь с притоками, а также реки Надым, Пур, Таз. Протяжённость внутренних водных путей на территории округа составляет 4,1 тыс. км, в том числе водные пути, на которых осуществляется вывешивание средств навигационного ограждения, – 3,55 тыс. км. В настоящее время по рекам обеспечивается сезонное сообщение между 52 населёнными пунктами с численностью постоянно проживающего населения до 120 тыс. человек¹⁹.

Проблемой является недостаточная протяжённость, неудовлетворительное состояние водных путей и инфраструктурных объектов, необходимых для обеспечения возрастающей потребности в грузоперевозках в связи с перспективами освоения новых месторождений углеводородов на территории округа. Решение проблем связано с реализацией комплекса мероприятий Транспортной стратегии РФ на период до 2030 года²⁰. Стратегией предусмотрена комплексная реконструкция внутренних водных путей и гидротехнических сооружений Обь-Иртышского водного бассейна,

включая увеличение протяжённости внутренних водных путей с гарантированными габаритами судовых ходов и освещаемой обстановкой, а также создание судоходных условий для доставки грузов в труднодоступные районы Крайнего Севера, в том числе по малым и быстро мелеющим рекам.

На территории Ямало-Ненецкого автономного округа расположены пять речных портов: в городах Салехард, Лабытнанги, Тарко-Сале, посёлках Ямбург и Коротчаево. Наиболее крупные речные порты – Салехардский, Надымский, Уренгойский – имеют выход на железнодорожные пути. Салехардский речной порт играет важную роль во внутрирайонных связях Тюменской области и осуществляет наиболее важные для развития Ямало-Ненецкого автономного округа работы: пассажирские перевозки, перевозки нефтепродуктов, перевозки грузов буксирным флотом в несамходных судах, погрузочно-разгрузочные работы, комплексное обслуживание флота. Решение указанных задач осуществляется за счёт развития технической оснащённости порта и внедрения современных технологических процессов доставки грузов в районы Крайнего Севера. В частности, создана эффективная схема доставки труб большого диаметра морским транспортом с перевозкой на речных баржах в районе Нового порта. С помощью плавучей крановой механизации порт имеет возможность осуществлять выгрузку судов в любом населённом пункте Ямало-Ненецкого автономного округа, даже при отсутствии оборудованных причалов. Быстрой перевалке грузов способствует наличие железнодорожных подъездных путей в городе Лабытнанги.

Пассажирские перевозки через речные порты осуществляются по следующим основным направлениям:

- в северном направлении – Яр-Сале, Новый Порт и Антипаюта;
- в южном направлении – Мужы, Горки, Ханты-Мансийск, Тобольск и Омск.

Сеть внутренних водных путей на территории округа имеет выходы на шельф в морские акватории, что обуславливает перспективное развитие внутренних водных путей и речных портов ЯНАО с учётом создания масштабных транспортно-логистических проектов на внутренних водных путях в рамках формирования международных транспортных коридоров «река–море–железная

¹⁹ Пассажирские перевозки речным транспортом осуществляются по межобластным (Омск–Тобольск–Салехард, Тобольск–Ханты-Мансийск–Салехард), межмуниципальным и внутримunicipальным маршрутам.

²⁰ О Транспортной стратегии РФ на период до 2030 года (с изменениями и дополнениями). Утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 22.11.2008 № 1734-р. [Электронный ресурс]: [http:// base.garant.ru/194460/](http://base.garant.ru/194460/). Доступ 18.01.2021.

дорога». Таким образом, речные порты ЯНАО, учитывая их связь с арктическими морскими портами, приобретают стратегический функционал – становятся одним из элементов Арктической транспортной системы.

Морской транспорт

Морские перевозки осуществляются через развивающиеся морские порты Харасавэй и Сабетта. Харасавэй – строящийся морской порт в районе вахтового посёлка Харасавэй в Ямальском районе ЯНАО – предназначен для перевалки углеводородного сырья Бованенковского газоконденсатного месторождения и месторождений шельфа Карского моря. Порт Сабетта является самым молодым морским портом России и одним из самых активно развивающихся, располагается на западном берегу Обской губы на северо-востоке полуострова Ямал. Первоначально строительство порта являлось частью проекта «Ямал СПГ»²¹, в связи с этим порт рассматривался в качестве грузового порта, предназначенного для перевозки морским транспортом сжиженного природного газа. В настоящее время порт развивается как многофункциональный, с возможностью использования для экспортных перевозок продукции, производимой в соседних регионах. Проект развития порта предусматривает строительство морского и подходного каналов, береговых объектов, системы управления движением судов. Данный проект является составной частью федерального проекта «Северный морской путь», реализуемого в рамках Комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года²². В 2019 г. в комплекс порта Сабетта был включён терминал «Утренний», расположенный на полуострове Гыдан, на противоположной стороне от Сабетты. Терминал предназначен для отгрузки сжиженного газа и конденсата в рамках второго про-

екта по сжижению газа «Арктик СПГ 2»²³. Выход на полную мощность (19,8 млн т в год) планируется на конец 2024 года²⁴. С реализацией проекта «Арктик СПГ 2» часть продукции пойдёт в восточном направлении, ледоколами до бухты Бечевинская (Камчатский край), где ПАО «НОВАТЭК» планирует создать перегрузочный СПГ-терминал²⁵. Далее продукция направляется обычными танкерами (без ледоколов) в Азию.

Морские перевозки на Ямале осуществляются также через терминал «Ворота Арктики», построенный в селе Мыс Каменный и предназначенный для отгрузки нефти из Новопортовского месторождения. В связи с тем, что месторождение расположено вдали от трубопроводной инфраструктуры, для транспортировки сырья был выбран вариант отгрузки через морской терминал «Ворота Арктики». Отгрузка нефти по данному варианту осуществляется с 2016 года круглогодично компанией «Газпромнефть»²⁶.

В перспективе арктические порты ЯНАО (в первую очередь Сабетта), рассматриваются как многофункциональные, ориентированные не только на перевалку топливно-энергетических ресурсов, но и на экспортные перевозки продукции предприятий Урала и Западной Сибири.

Реализация перечисленных крупных инфраструктурных проектов федерального уровня требует соответствующего развития региональной транспортно-логистической инфраструктуры и решения транспортных проблем ЯНАО. Анализ текущего состояния транспортной системы ЯНАО показал несоответствие существующего уровня развития транспортной инфраструктуры потребностям экономики и населения округа, и её несоответствие стратегическим целям страны в АЗРФ. Для решения задачи её развития, с учётом комплексной оценки текущего состояния транспортной инфраструктуры ЯНАО, разработана Государственная программа ЯНАО «Развитие транспортной инфраструктуры на 2014–2024 годы» (с изменениями на 11 февраля 2021 года)¹⁸.

²¹ Строительство завода по производству сжиженного природного газа Южно-Тамбейского месторождения. [Электронный ресурс]: [https://gpsm.ru/deyatelnost/yamal-spg-szhizhennyj-prirodnyj-gaz/#:~:text=ЯМАЛ%20СПГ%20-%20интегрированный%20проект,на%20ресурсной%20базе%20Южно-Тамбейского%20месторождения](https://gpsm.ru/deyatelnost/yamal-spg-szhizhennyj-prirodnyj-gaz/#:~:text=ЯМАЛ%20СПГ%20-%20интегрированный%20проект,на%20ресурсной%20базе%20Южно-Тамбейского%20месторождения.). Доступ 18.01.2021.

²² Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года. Утв. распоряжением Правительства РФ от 30 сентября 2018 года № 2101-р. [Электронный ресурс]: <http://garant.ru/products/ipo/prime/doc/71975292/>. Доступ 18.01.2021.

²³ Реализуется ОАО «НОВАТЭК». [Электронный ресурс]: [https://www.novatek.ru/common/upload/doc/MDA_12m_2020_\(Rus\)_final.pdf](https://www.novatek.ru/common/upload/doc/MDA_12m_2020_(Rus)_final.pdf). Доступ 18.01.2021.

²⁴ Бабаева В. Порты Арктики: борьба за лидерство на Севморпути. Часть 3. [Электронный ресурс]: <http://goarctic.ru/>. Доступ 18.01.2021.

²⁵ «НОВАТЭК» построит свой терминал в бухте Бечевинская на Камчатке. [Электронный ресурс]: http://Tass.ru/экономика/и_бизнес/5211461/. Доступ 23.03.2021.

²⁶ Сайт компании «Газпромнефть-Ямал». [Электронный ресурс]: <http://Yamal.gazprom-neft.ru/>. Доступ 23.03.2021.



ВЫВОДЫ

Решение задачи модернизации и развития полноценной региональной транспортной инфраструктуры за счёт реализации региональных и федеральных инфраструктурных проектов обеспечит:

- 1) формирование единого связанного транспортного пространства на территории округа с существенным сокращением инфраструктурных ограничений развития экономики округа;
- 2) достижение необходимого уровня мобильности населения и транспортной доступности муниципалитетов для всех категорий граждан;
- 3) объединение материковой и портовой инфраструктуры в единую логистическую систему за счёт реализации федеральных инфраструктурных проектов, осуществляемых параллельно с мероприятиями по поддержке, модернизации, развитию существующей региональной транспортной инфраструктуры;
- 4) интеграцию транспортного комплекса ЯНАО в составе транспортного комплекса России в мировую транспортную систему.

Таким образом, создание эффективной региональной транспортно-логистической системы, встроенной в соответствующую федеральную систему с учётом геостратегической специфики и геоэкономического потенциала региона, обеспечит снятие инфраструктурных ограничений развития национальной экономики и экономики региона.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бабкина Т. В., Бурава А. А., Трёмбач К. И. Специфика и взаимосвязь экономической безопасности и транспортного комплекса страны // *Наукоедение*. – 2015. – Т. 7. – № 5. [Электронный ресурс]: <http://naukovedenie.ru/PDF/182EVN515.pdf>. Доступ 18.01.2021.
2. Никулина Н. Л., Аверина Л. М. Межрегиональное взаимодействие в аспекте развития транспортно-логистической инфраструктуры Урало-Сибирского макрорегиона // *Теория и методология моделирования пространственного развития территорий*. – Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2020. – 270 с.
3. Бауэрсокс Д. Дж., Клоос Д. Дж. Логистика. Интегрированная цепь поставок / Пер. с англ. Н. Н. Барышиковой, Б. С. Пинскера. – М.: Олимп-Бизнес, 2010. – 635 с.
4. Ghiani, G., Laporte, G., Musmanno, R. *Introduction to Logistics Systems Planning and Control*. John Wiley and Sons,

Ltd., 2004. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/236110407_Introduction_to_logistics_systems_planning_and_control. Доступ 18.01.2021.

5. Максимова С. Ю. Формирование и развитие транспортной инфраструктуры региона / Автореф. дис... канд. экон. наук. – Ставрополь, 2010. – 21 с.
6. Миротин Л. Б., Гудков В. А., Зырянов В. В., Некрасов А. Г., Балалаев А. С., Ларин О. Н. и др. Управление грузовыми потоками в транспортно-логистических системах / Под ред. Л. Б. Миротина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2010. – 704 с.
7. Прокофьева Т. А. Развитие транспортно-логистической инфраструктуры в Азиатской части России – стратегическое направление реализации транзитного потенциала страны в системе евразийских МТК. [Электронный ресурс]: <http://www.publications.hse.ru>. Доступ 21.01.2020.
8. Раимбеков Ж. С., Сыздыкбаева Б. У., Жуматаева Б. А., Тастанбекова К. Н. Экономическое содержание и состав логистической инфраструктуры // *Вестник КазЭУ*. – 2014. – № 2 (98). – С. 114–127. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/contents.asp?id=45797950>. Доступ 14.12.2019.
9. Шпак А. В., Биев А. А., Серова В. А. Транспортная обеспеченность АЗРФ как фактор экономической безопасности страны // *Современные организационно-экономические тенденции и проблемы развития Европейского Севера: Материалы международной науч.-практ. конф. (Мурманск, 23–24 апреля 2015 г.)*. – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2015. – С. 139–143.
10. Большаков Я. А. Российская стратегия в отношении пространственного развития Арктики // *Современные организационно-экономические тенденции и проблемы развития Европейского Севера: Материалы междунар. науч.-практ. конф. (Мурманск, 23–24 апреля 2015 г.)*. – В 2 ч. – Ч. 2 / под науч. ред. А. И. Кибиткина. – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2015. – 314 с. – С. 22–24.
11. Комлева Н. А. Арктическая стратегия приарктических государств. Общее и особенное // *Арктика и Север*. – 2011. – № 2. – С. 1–7. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_17093418_77853982.pdf. Доступ 14.12.2019.
12. Воронина Е. П. Транспортное освоение арктических территорий: стратегические задачи и анализ рисков // *Арктика: экология и экономика*. – 2017. – № 3 (27). – С. 61–68.
13. Орлов Д. Развитие Арктической зоны России и основные вызовы для её освоения // *REGNUM*. – 25.04.2018. [Электронный ресурс]: <https://regnum.ru/news/economy/2407690.html>. Доступ 18.01.2021.
14. Селин В. С. Сценарный прогноз развития морских перевозок в арктических акваториях // *Современные организационно-экономические тенденции и проблемы развития Европейского Севера: Материалы междунар. науч.-практ. конф. (Мурманск, 23–24 апреля 2015 г.)*. – В 2 ч. – Ч. 2 / Под науч. ред. А. И. Кибиткина. – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2015. – 314 с. – С. 113–116.
15. Каткова С. В. ЯНАО. Вопросы системного транспортного обеспечения. [Электронный ресурс]: <http://morproekt.ru.attachments/article/63/8-9n.pdf>. Доступ 18.01.2021.

Информация об авторах:

Никулина Наталья Леонидовна – кандидат экономических наук, старший научный сотрудник лаборатории моделирования пространственного развития территорий Института экономики УрО РАН, Екатеринбург, Россия, nikulinanl@mail.ru.

Аверина Лидия Михайловна – младший научный сотрудник лаборатории моделирования пространственного развития территорий Института экономики УрО РАН, Екатеринбург, Россия, laverina@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 28.01.2021, одобрена после рецензирования 15.05.2021, принята к публикации 12.06.2021.



Формализованный подход к оптимальному внедрению комплекса технических средств



Татьяна ПОПОВА



Александр ПОПОВ

*Татьяна Александровна Попова¹,
Александр Петрович Попов²*

¹ *Российский технологический университет
(МИРЭА), Москва, Россия.*

² *Российский университет транспорта, Москва,
Россия.*

✉ ² par60@bk.ru.

АННОТАЦИЯ

Исследование относится к области автоматизации технологической подготовки производства в транспортном машиностроении. Разработана концепция выбора оптимальной модели проектирования комплекса технических средств системы управления на автоматизированном производстве. Изучены факторы, характеризующие динамику процессов. Составлены соответствующие математические модели, учитывающие стоимостные характеристики и экономическую целесообразность ввода комплексных технических средств.

Основная цель данной работы сводится к учёту всех имеющих вес параметров, в том числе динамики технико-экономических процессов. Показано, что стоимостные характеристики напрямую являются показателями экономической эффективности внедряемого комплекса технических средств.

Методически данная работа выполнена на основе экономико-математического анализа по внедрению комплекса технических средств на производственном предприятии транспортно-машиностроительной отрасли с учётом обобщения ранее предложенных в исследованиях подходов.

Для наиболее точного определения конечной стоимости определённого варианта изделия, необходимо учитывать все факторы проектных решений. На основании этих данных строится модель стоимостных характеристик изделий, анализируя которую возможно произвести выбор оптимальной конструкции изделия, оптимальных узлов с конкретными комплектующими и конкретными показателями качества. Это позволяет получить

оптимальный технологический вариант проектного решения на производстве.

Предложена методика поиска оптимального производственного цикла при внедрении системы автоматизированного производства. Предлагается учитывать потери, связанные с временным замораживанием фондов, в том числе показано, что необходимо выполнять свёртку критериев оптимизации. Для формализации процесса принятия оптимальных решений также предлагается согласовывать выпускаемую продукцию и потребности рынка. Кроме того, в методологию поиска необходимо включать поиск оптимальной группы работников, отвечающих за выполнение конкретных узконаправленных задач, что позволит повысить показатели качества автоматизированного производства с внедрённым комплексом технических средств (КТС).

С целью максимального сокращения времени, затрачиваемого на весь цикл ввода в эксплуатацию изделия, начиная с этапа разработки и заканчивая получением готового продукта, требуется форсировать проведение опытно-конструкторских работ. Это возможно осуществить за счёт увеличения производственных мощностей, а также благодаря сокращению времени частных циклов существования конструкции.

Несмотря на то, что модель становится переизбыточной, авторы считают необходимым введение дополнительных элементов для учёта всех нюансов, способствующих выбору наилучшего решения в части оптимизации, что позволит определить полную экономическую эффективность комплекса.

Ключевые слова: транспортное машиностроение, комплексные технические средства (КТС), стоимостные характеристики, оптимизация технологических процессов.

Для цитирования: Попова Т. А., Попов А. П. Формализованный подход к оптимальному внедрению комплекса технических средств // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 3 (94). С. 45–52. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-5>.

**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

Для любого машиностроительного и авиастроительного предприятия остро стоит проблема сокращения цикла конструкторско-технологического производства. В век информационных технологий развитие автоматизации производства является одним из самых приоритетных направлений. Однако многие инженерные задачи по-прежнему отличаются своей сложностью, и быстро автоматизировать весь технологический процесс не представляется возможным, поэтому актуальна поэтапная формализация порядка производственных маршрутов.

Целью исследования является разработка методики выбора оптимальных технических средств, внедряемых в производственный комплекс для получения оптимальных технических и экономических показателей с учётом изменчивости технико-экономических процессов в зависимости от влияющих внешних и внутренних производственных факторов.

Критерием внедрения новой технологии или научно-технологического решения является увеличение эффективности [1] производства, причём как с технической, так и с экономической точки зрения.

Многочисленные исследования, в том числе за рубежом, направленные на поиск оптимальных решений обеспечения технологичности, сводятся к тому, что внедрение инноваций, традиционно рассматриваемых в литературе, имеет множество подклассов. Для внедрения новых технологических подходов в уже существующие производственные процессы либо разработки новых предложений для принципиально новых продуктов требуется тщательное стратегическое планирование [2]. Внедрение комплекса технических средств (КТС) позволяет произвести систематизацию в вопросах управления проектами, а также обеспечить контроль качества после введения тех или иных инновационных предложений.

Метод, применяемый для выявления оптимального полного производственного цикла, сводится к анализу динамики расходов и доходов.

Ряд работ, в частности научно-исследовательский проект [3] венгерских разработчиков, направленный на иссле-

дование эффективного применения информационно-коммуникационных технологий, показывает, что применение комплексных технических решений с поддержкой их принятия помогает предприятиям справиться с проблемами неопределённости и сложности, повысить свою эффективность.

Гипотеза, что интенсификация работ может привести к сокращению полного производственного цикла изделия была подтверждена математической моделью, ранее представленной авторами в [4]. При этом было показано, что такой подход может привести к снижению эффективности вкладов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Общие подходы

Разработанный метод оценки стоимостных характеристик содержит в себе ряд допущений, при этом нельзя не учитывать, что вектор качества изделия определяется через многомерную техническую составляющую производственного процесса. Естественно, что внедрение принципиально новых решений позволит расширить представление о нахождении оптимального производственного цикла.

Опираясь на предлагаемую методику, требуется определить те узлы или группы деталей, которые целесообразно заменить, либо, напротив, допустить преемственность существующих технических решений. Для точного определения стоимостных характеристик требуется учитывать, помимо выше названного, динамические параметры.

Факторы проектных решений не имеют чётко зависимой взаимосвязи, однако при учёте взаимосвязи элементов функций каждого производственного уровня они позволят прийти к разработке оптимальной системы.

При разработке принципиально новых КТС необходимо отталкиваться от базового варианта, внедряя инновации в слабые звенья и не затрагивая существующие и отлаженные производственные мощности. Унификация в данном вопросе актуальна. Моделирование показало, что внедрение кардинально новых и оригинальных кон-

структивных решений приводит к невозможности стандартизировать ни технологический процесс, ни сами КТС. Отказ от проверенных решений зачастую приводит к экономическому проигрышу вследствие затрат на производство новых узлов и элементов системы, потере времени и неоправданным перерасходам производственных средств, что, в свою очередь, может привести к срыву сроков по выпуску продукции и организационных затруднений, вызванных новым подходом к производственному циклу.

Информационные технологии в мировой практике являются неотъемлемым шагом для повышения качества производства деталей при уменьшении себестоимости и сроков освоения [5].

При реализации перспективных технологических процессов на предприятии экономический эффект достигается, прежде всего, за счёт экономии производственных ресурсов и увеличения продаж, таким образом достигается снижение себестоимости продукта.

Традиционно основным критерием, определяющим экономическую целесообразность внедрения КТС, являлись затраты. При анализе ценовых характеристик изделий и их узлов учитывались проектные, производственные и эксплуатационные расходы, применяемые к конкретному блоку технического обслуживания. В работе [4] показано, что на основании данных по стоимости только одного блока нельзя достоверно оценить показатели качества КТС.

Динамика производственных процессов определяется такими факторами, как моральное устаревание любого продукта и систем управления; скорость производства и ввод в эксплуатацию новых КТС. Эти факторы определяют эффективность разрабатываемых продуктов, и решения, принятые без их рассмотрения, могут быть далеки от рациональных.

Чтобы учесть положительный технологический прогресс при внедрении КТС, следует ввести множественные критерии, отвечающие за экономические показатели, при этом предлагаемые свойства затрат могут использоваться как синоним экономической эффективности.

Предлагаемые методы и решения

Желание максимально сократить полный цикл изделия логично и является естественным следствием возникновения инноваций в проектных и технологических решениях. Вследствие этого, приступая к разработке новой версии КТС, нужно определить длительность совместного цикла существования инновационной системы. Данный параметр может быть определён лишь на основании выходных технических характеристик готового изделия.

На начальном этапе проектирования накопленный опыт должен ограничиваться ориентировочными оценками, основанными на статистических данных.

Существует универсальное предложение, которое способно стать ключом ко многим проблемам, связанным с моральным устареванием конструкции. Чтобы свести к минимуму время от этапа разработки до начала работы серии, необходимо уменьшить время на подготовительные циклы и сосредоточиться на росте производственных мощностей.

В работе [4] было показано, что «ускорение начальных этапов цикла может быть достигнуто в основном за счёт форсирования вкладов путём перемещения денежных средств и увеличения их размеров, а также за счёт более рациональной организации труда».

Расширение производственных мощностей приводит к сокращению жизненного цикла изделия в связи с укорачиванием производственного этапа, хотя в отдельных случаях это может привести к нарушению оптимального отношения спрос/предложение. Таким образом, становится возможным ввести различные серии КТС на производство с учётом оценки экономического эффекта от внедрения подобных инновационных подходов и оптимального времени для развития и реализации производства.

Анализируя ряд графиков доходов и расходов (рис. 1 [4]), можно говорить об экономической целесообразности принятия решений по внедрению КТС.

Кривая $P(\tau)$ представляет собой график общих затрат для всех издержек, связанных с эксплуатацией как уже используемых КТС, так и внедряемых [6; 7]. Обобщённый фонд $\Phi(\tau)$ определяется через интеграл



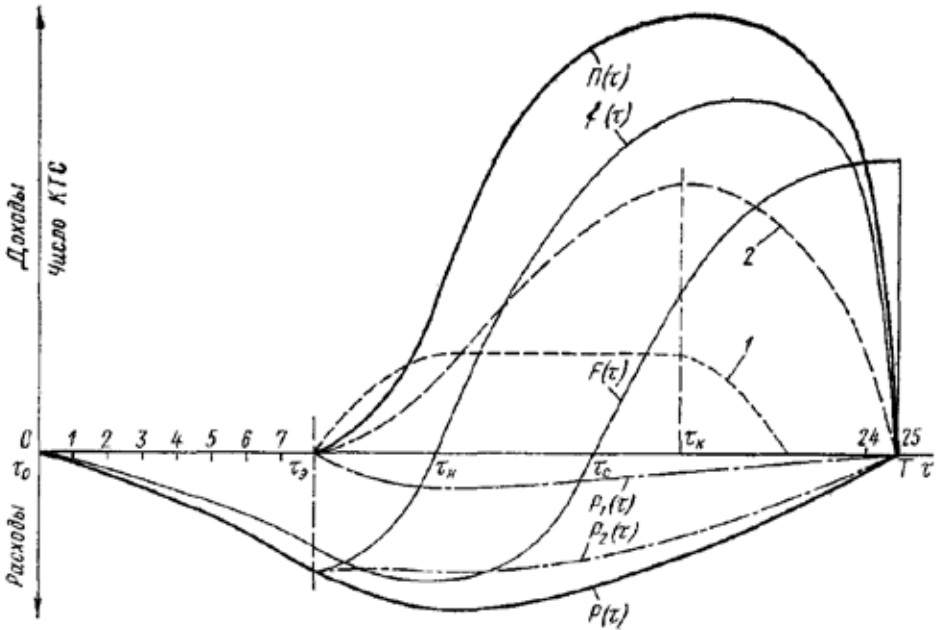


Рис. 1. Динамика расходов и доходов. $P(\tau)$ — суммарные расходы, в том числе на эксплуатацию — $P_1(\tau)$; на производство — $P_2(\tau)$; 1 — выпуск КТС; 2 — число эксплуатируемых КТС [4].

экономического эффекта от начала полного цикла τ_0 до начала операции τ для внедрённого КТС:

$$\Phi(\tau) = \int_{\tau_0}^{\tau} P(\tau) d\tau.$$

Экономический эффект (отдача) $\Pi(\tau)$ определяется доходом, получаемым от эксплуатации конкретной серии КТС. Фондоотдача $\Psi(\tau)$, в свою очередь, представляет собой интегральное значение:

$$\Psi(\tau) = \int_{\tau_0}^{\tau} \Pi(\tau) d\tau.$$

Прибыль $f(\tau)$ рассчитывается как разность экономических эффектов до и после введения КТС:

$$f(\tau) = \Pi(\tau) - P(\tau).$$

Экономический эффект, то есть превышение доходов над расходами, проявляется только после некоторого момента времени τ , когда достигается равенство $\Pi(\tau) = P(\tau)$, что наглядно показано на графике (рис. 1). До этого момента, невзирая на наличие экономических ресурсов, имеют место быть замороженные фонды. Момент времени τ_n является точкой отсчёта роста самоокупаемости, когда часть замороженных фондов перекрывается,

превышая функцию полезности по функции затрат.

В некоторый момент времени τ_c интеграл $F(\tau) = \int f(\tau) d\tau$, проходя через нулевую отметку, принимает положительное значение. Время τ_c называют «временем самоокупаемости». После этого начинается период, когда «чистая» прибыль от внедрения КТС возрастает. Размер прибыли определяется как:

$$\tilde{F}(\tau) = \int_{\tau_c}^{\tau} [\Pi(\tau) - P(\tau)] d\tau.$$

Однако такое определение экономической эффективности депозитов недостаточно верно указывает на полный объём экономических процессов, поскольку оно не учитывает значительные потери, связанные с временным замораживанием средств. В этой связи далее выполняется свёртка критериев и выполняется многокритериальная оптимизация. Более подробно данный подход освещён в работе [8].

С учётом временных задержек, обусловленных перемещением денежных средств, создаются фонды, которые позволяют получить прибыль, выражаемую в K процентах. Если затраты, произведённые на начальном этапе (как правило, в течение первого года), были заморожены на весь

срок использования серии КТС, то расчёт ведётся по n годам, так как удержание не приносит экономической прибыли:

$$\Delta\Phi = (1+K)^n \int_0^1 P(\tau) d\tau - \int_0^1 P(\tau) d\tau = \\ = [(1+K)^n - 1] \int_0^1 P(\tau) d\tau = [(1+K)^n - 1] \Phi_1,$$

где $\Phi_1 = \int_0^1 P(\tau) d\tau$ – представляет собой замороженный вклад в течение первого года.

Равно как и для случая, когда на i -м году происходит заморозка либо существенное сокращение денежных средств, денежный фонд изменяется в сторону уменьшения на величину, определяемую как:

$$\Delta\Phi_i = [(1+K)^{n-i} - 1] \Phi_i.$$

Соответственно, если все средства, потраченные на создание и внедрение серии КТС, были заморожены на n лет (срок службы структуры), то общие потери с учётом убытков, понесённых вследствие исключения данных денежных средств из оборота, можно определить, как Φ :

$$\Phi = \sum_{i=1}^n [(1+K)^{n-i} - 1] \Phi_i + \Phi_1 = \\ = \sum_{i=1}^n \Phi_i (1+K)^{n-i},$$

так как $\sum_{i=1}^n \Phi_i = \Phi_T$ – общая величина затрат денежных средств с учётом различных неучётных параметров, то окончательная величина будет определяться как:

$$\Phi = \sum_{i=1}^n (1+K)^{n-i} \int_{i-1}^i P(\tau) d\tau.$$

Для определения общего экономического эффекта уместно использовать непрерывную форму, а не отдельное выражение для Φ . С этой целью разобьём календарный период (один год) на небольшие дискретные временные участки $\Delta\tau$, удовлетворяющие условию $n_1 \cdot \Delta\tau = T$, и составим предел:

$$\lim_{n_1 \rightarrow \infty} \sum_{i=\frac{T}{n_1}}^{\frac{n_1 \Delta\tau}{n_1}} (1+K)^{\frac{T}{n_1}(n_1-i)} P(\tau) \Delta\tau = \\ = \lim_{n_1 \rightarrow \infty} \sum_{i=\frac{T}{n_1}}^{\frac{T}{n_1}} (1+K)^{\frac{T}{n_1}(n_1-i)} P(\tau) \Delta\tau = \int_0^T (1+K)^{(T-\tau)} P(\tau) d\tau.$$

Обобщённо можно записать:

$$\Phi = \int_0^T (1+K)^{(T-\tau)} P(\tau) d\tau.$$

Для решения оптимизационной задачи по эффективному увеличению оборота денежных средств на организацию производства подробно рассмотрим структуру функции $P(\tau)$.

Согласно полной схеме производственного цикла, данную функцию $P(\tau)$ можно представить через ряд составляющих, каждое из которых также определяется несколькими показателями. Например, составляющая стоимости «подготовительного этапа разработки новой серии» определяется четырьмя статьями расходов (всего 18 компонентов).

Следует отметить, что некоторые показатели частично перекрывают друг друга, и функцию $P(\tau)$ можно переписать как:

$$P(\tau) = \sum_{i=1}^n r_i(\tau),$$

где $r_i(\tau)$ – текущие расходы, приходящиеся на i -й частный цикл.

Расходы описываются финитной функцией, определённой только в ограниченной области $\tau_i - \tau_j$; $i, j \in \{1, \dots, n\}$, которая в остальных интервалах принимает нулевые значения. Таким образом, сама функция $P(\tau)$ определяется в диапазоне $0-T$ и стремится к нулю за пределами этого интервала.

Нельзя не отметить, что интеграция электронно-вычислительных комплексов позволяет открыть новые горизонты в развитии любой отрасли промышленности.

Производительность многих современных продуктов (автомобилей, стиральных машин, роботов или станков) и их производство зависят от способности промышленности использовать достижения в области технологий и внедрять их на стадии проектирования как в продукты, так и в производственные процессы.

Такие производственные системы, в которые уже интегрированы КТС, а также в которых применяется междисциплинарный подход к инженерному проектированию, с технической и управленческой точек зрения становятся значительно конкурентноспособнее по отношению к своим предшественникам [9].

Определение каждого компонента, влияющего на затраты, возможно осуществить на базе статистических данных.

Возврат денежных средств, возможный после внедрения новой системы КТС, начинается с момента времени τ_3 . Очевидно,



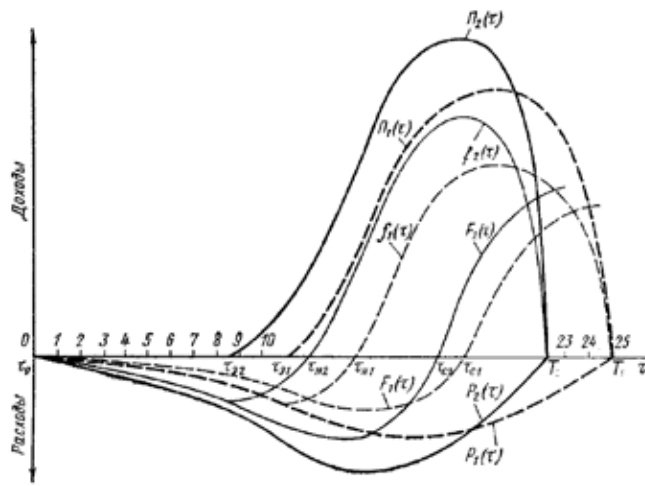


Рис. 2. Влияние интенсивности финансирования на эффективность КТС; индексы 1 соответствуют начальному варианту, индексы 2 – конкурирующему [4].

что возвратные деньги не могут сразу попасть в обращение и могут быть учтены лишь как возможная дополнительная прибыль. Доход определяется для функции $f(\tau)$ в течение временного интервала τ_3 в процентах К до определённого момента Т.

Прибыль возможно определить через интегрирование каждой составляющей:

$$\phi(\tau) = \int_{\tau_0}^{\tau} (1 + K)^{(T-\tau)} f(\tau) d\tau.$$

Зависимости $\Phi(\tau)$, как и $\phi(\tau)$, не являются новыми в вопросах описания затрат и относятся к традиционным формулам экономики предприятий.

Обобщённые функции $f(\tau)$, как и функция $P(\tau)$, состоят из ряда компонентов, которые являются наиболее важными, однако наиболее трудно формализованными. Истинная прибыль определяется функцией $f(\tau)$ на промежутке $\tau_3 - T$ и, равно, как и функция $P(\tau)$, на данном участке может быть представлена как:

$$F(\tau) = \phi - \Phi = \int_{\tau_0}^{\tau} (1 + K)^{(T-\tau)} f(\tau) d\tau - \int_{\tau_0=0}^{\tau} (1 + K)^{(T-\tau)} P(\tau) d\tau.$$

По отношению к затратам получаем:

$$g = \frac{\phi - \Phi}{\Phi} = \frac{\int_{\tau_0}^{\tau} (1 + K)^{(T-\tau)} f(\tau) d\tau - \int_0^{\tau} (1 + K)^{(T-\tau)} P(\tau) d\tau}{\int_0^{\tau} (1 + K)^{(T-\tau)} P(\tau) d\tau}.$$

Имея возможность рассчитать абсолютную стоимость и относительную стоимость «чистой прибыли», можно перейти к опре-

делению оптимальной системы интенсификации депозитов при организации производства с использованием новой серии КТС. «Решение об эффективности инновационного проекта принимается с учётом ценности всех учредительных приложений» [10].

Для удобства рассмотрения нескольких вариантов выпуска КТС (рис. 2) представим время существования конструкции при исходном варианте финансирования как T_1 и суммарный фонд денежных средств базового варианта как Φ_1 .

Тогда, используя интегральный подход, можно записать:

$$\Phi_1 = \int_{\tau_0}^{T_1} (1 + K)^{(T_1-\tau)} P_1(\tau) d\tau,$$

где $P_1(\tau)$ – расходы в первоначальном варианте;

Φ_1 – суммарная величина затрат.

$$\phi_1 = \int_{\tau_0}^{T_1} (1 + K)^{(T_1-\tau)} f_1(\tau) d\tau.$$

Для модернизированного варианта перепишем выражения как:

$$\Phi_2 = \int_{\tau_0}^{T_2} (1 + K)^{(T_2-\tau)} P_2(\tau) d\tau$$

и

$$\phi_2 = \int_{\tau_0}^{T_2} (1 + K)^{(T_2-\tau)} f_2(\tau) d\tau,$$

где $P_2(\tau)$ – производственные затраты для модернизированного производственного процесса (форсированный вариант).

Реальная прибыль в первом случае определяется как $F_1 = \phi_1 - \Phi_1$, для форси-

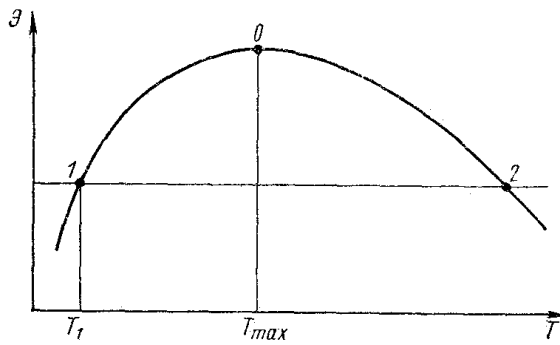


Рис. 3. Эффективность в функции интенсивности финансирования работ [4].

рованного варианта справедливо равенство $F_2 = \varphi_2 - \Phi_2$. Для анализа эффективности внесённых изменений проанализируем отношение показателей прибыли:

$$\bar{\vartheta}(\tau) = \frac{F_2}{F_1} = \frac{\int_{\tau_1}^{\tau_2} (1+K)^{(\tau_2-\tau)} f_2(\tau) d\tau - \int_0^{\tau_2} (1+K)^{(\tau_2-\tau)} P_2(\tau) d\tau}{\int_{\tau_1}^{\tau_2} (1+K)^{(\tau_2-\tau)} f_1(\tau) d\tau - \int_0^{\tau_2} (1+K)^{(\tau_2-\tau)} P_1(\tau) d\tau}.$$

В работе [4] ранее подробно приведён анализ статистических данных, где показано следующее: «функция $\bar{\vartheta}(T)$ имеет вид, изображённый на рис. 3, и может быть аналитически представлена в виде отношения аппроксимирующих полиномов. Левая ветвь этой кривой (участок 1–0) означает, что при слишком большой интенсификации работ, приводящей к сокращению полного цикла, происходит снижение эффективности вкладов. Это объясняется следующим: для каждого технологического процесса существуют минимальные сроки проведения работ, которые при заданном уровне развития техники не могут быть практически уменьшены» [4].

В соответствии с графиком (рис. 3) очевидно, что чем больше временных затрат с меньшим финансированием, тем больше упорядоченности в алгоритме выполняемых задач. В случае снижения депозитов внедрение КТС существенно замедляется и приводит к дополнительным затратам, связанным с удержанием денежных средств и обесцениванием продукции за счёт морального устаревания изделий и технологических решений.

Все факторы, оказывающие прямое или косвенное воздействие на систему, учтены в функциях $P_1(\tau)$, $P_2(\tau)$, $f_1(\tau)$, $f_2(\tau)$, для двух случаев: с уже применяемыми ранее КТС

и для форсированного варианта. Функции (рис. 2) определяются многочленами с одинаковой степенью для каждой соответствующей пары факторов, но с разными коэффициентами для полного временного цикла.

Как сказано в работе [4]: «Интегралы $\Phi_2(T_2)$ и $\varphi_2(T_2)$ имеют вид, аналогичный виду функций $\Phi_1(T_1)$ и $\varphi_1(T_1)$ ».

Вопросами оптимизации производственных процессов занимались многие учёные, например, Г. К. Горанский, Н. М. Капустин [11; 12]. Наиболее полно рассматривается внедрение шагов по применению КТС в трудах С. П. Митрофанова. Следует отметить, что показанный в его работе [13] технологический процесс представляет собой модель, которая включает готовые технологические решения, необходимые для эффективного применения современных информационных технологий к процедурам автоматизации производства в целом и процедурам подготовки технологического производства в частности. Подобные задачи также представлены в [14].

Схожая проблематика также освещалась в зарубежных работах [2; 15; 16], где была отмечена теоретическая связь между стратегической адаптацией, практикой управления инновациями и результатами бизнеса.

Ряд отечественных работ также показывает экономическую целесообразность применения инноваций и введения КТС в производство [17; 18].

В основе моделирования заложена необходимость первоначальных этапов по автоматизации и унификации параметров КТС, однако в реальных условиях подход к каждому конкретному запросу должен





быть не формализованным, а направленным на достижение наилучшего результата, что также отражается в работе [19].

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

Произведён анализ экономической эффективности форсирования полного цикла технологического процесса автоматизированного производства.

Показан обоснованный выбор оптимального комплекса технических средств. С целью решения этих задач строится диаграмма полного цикла производства. В связи с комплексным подходом учитываются такие составляющие, как затраты на «подготовительную стадию освоения новой серии», экономическая полезность КТС и коэффициенты морального износа.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Макаренко С. И. Техничко-экономический анализ целесообразности внедрения новых технологических решений // Системы управления, связи и безопасности. – 2016. – № 1. – С. 278–287. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehniko-ekonomicheskiy-analiz-tselesoobraznosti-vnedreniya-novyh-tehnologicheskikh-resheniy/pdf>. Доступ 17.08.2020.
2. Sánchez, A., Lago, A., Ferràs, X., Ribera, J. Innovation Management Practices, Strategic Adaptation, and Business Results: Evidence from the Electronics Industry. *Journal of Technology Management & Innovation*, 2011, Vol. 6, Iss. 2. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27242011000200002>.
3. Viharos, Zs. J., Monostori, L., Csongrádi, Z. An important aspect of a digital factory: Monitoring of complex production systems; WESIC 2003, 4th Workshop on European Scientific and Industrial Collaboration; Miskolc, Hungary, May 28–30, 2003, pp. 363–370. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/250068677_an_important_aspect_of_a_digital_factory_monitoring_of_complex_production_systems. Доступ 17.08.2020.
4. Попов А. П. Повышение эффективности проектирования системы управления технологическими процессами на основе оптимизации комплекса технических средств // Дис... канд. техн. наук. – МГТУ «Станкин», 2010. – 165 с. [Электронный ресурс]: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_004600152/. Доступ 17.08.2020.
5. Абдрашитов Р. Т., Абрамов К. Н. Повышение эффективности автоматизированных систем технологической подготовки производства // Вестник ОГУ. – 2000. – № 1 (4). – С. 65–70. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-effektivnosti-avtomatizirovannyh-sistem-tehnologicheskoy-podgotovki-proizvodstva/pdf>. Доступ 17.08.2020.
6. Попов А. П., Попова Т. А. Преемственность при проектировании комплекса технических средств // Мир

транспорта. – 2014. – № 5. – С. 124–129. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/149>. Доступ 17.08.2020.

7. Ли Р. Оптимальные оценки, определение характеристик и управление. – М., Наука, 1966. – 176 с.

8. Поезжалова С. Н., Селиванов С. Г., Бородкина О. А., Кузнецова К. С. Рекуррентные нейронные сети и методы оптимизации проектных технологических процессов в АСПП машиностроительного производства // Вестник УГАТУ. – 2011. – Т. 15 – № 5 (45) – С. 36–46. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/rekurrentnye-neyronnye-seti-i-metody-optimizatsii-proektnyh-tehnologicheskikh-protsessov-v-astpp-mashinostroitelno-go-proizvodstva/pdf>. Доступ 17.08.2020.

9. Bradley, D. A. *Mechatronics – Electronics in Products and Processes*. Chapman & Hall, 1993, 376 p.

10. Шалаев И. А., Харитонов А. А. Показатели оценки эффективности финансирования инновационных проектов // Вектор Экономки. – 2017. – № 11(17). – С. 41–49. [Электронный ресурс]: http://www.vectoreconomy.ru/images/publications/2017/11/innovationmanagement/Shalaev_Kharitonova.pdf. Доступ 17.08.2020.

11. Горанский, Г. К., Бендерова Э. И. Технологическое проектирование в комплексных автоматизированных системах подготовки производства. – 1981. – 456 с.

12. Капустин, Н. М., Павлов В. В. и др. Диалоговое проектирование технологических процессов. – М.: Машиностроение, 1981. – 287 с.

13. Митрофанов С. П. Научная организация серийного производства. – М.: Машиностроение, 1970. – 212 с.

14. Свирский Д. Н., Климентьев А. Л. Автоматизация принятия технологических решений в компактном производстве машиностроительной продукции // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. – 2010. – № 2. – С. 54–62. [Электронный ресурс]: https://elib.psu.by/bitstream/123456789/1765/1/Svirkij_2010-2-p54.pdf. Доступ 17.08.2020.

15. Copeland, T., Koller, T., Murrin, J. Valuation: Measuring and Managing the Values of Companies. *Journal of Mathematical Finance*, August 18, 2014, Vol. 4, No. 4. [Электронный ресурс]: <https://www.pdfdrive.com/valuation-measuring-and-managing-the-value-of-companies-3rd-edition-e158622059.html>. Доступ 17.08.2020.

16. Jayani, Rajapathirana R. P.; Yan, Hui. Relationship between innovation capability, innovation type, and firm performance. *Journal of Innovation & Knowledge*, April 2018, Vol. 3, Iss. 1, pp. 44–55. DOI: 10.1016/j.jik.2017.06.002.

17. Шалаев И. А., Мишунина И. С., Покопцева С. А. Современный анализ и методы оценки финансовых рисков // Экономика и социум. – 2016. – № 12–2 (31). – С. 1677–1683. [Электронный ресурс]: <https://readera.org/sovremennyj-analiz-i-metody-ocenki-finansovyh-riskov-140117481>. Доступ 17.08.2020.

18. Кондратьев А. И. Совершенствование подготовки производства деталей машин на основе применения формальных оценок подобия проектных решений // Вестник Южно-Уральского Государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2016. – Т. 16. – № 3. – С. 36–43.

19. Гличев А. В. Экономическая эффективность технических систем. – М.: Экономика, 1971. – 270 с. ●

Информация об авторах:

Попова Татьяна Александровна – преподаватель Российского технологического университета (МИРЭА), Москва, Россия, tatiana241187@gmail.com.

Попов Александр Петрович – кандидат технических наук, доцент Российского университета транспорта, Москва, Россия, par60@bk.ru.

Статья поступила в редакцию 23.12.2019, одобрена после рецензирования 19.08.2020, актуализирована 07.11.2020, принята к публикации 11.03.2021.



ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ



СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПАССАЖИРОПОТОКОВ 54

*Применение Wi-Fi-аналитики.
Оценка перспектив и практическая
апробация.*

ГОРОДСКОЙ ОБЩЕСТВЕННЫЙ ТРАНСПОРТ 67

*Общие оценки и перспективность
внедрения системных исследований
пассажиропотоков на примере
городской транспортной системы
Худжанда.*



ОПТИМИЗАЦИЯ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК 74

*Задачи транспортного типа
и методика их решения.
Расчёт оптимальных планов
и распределения по транспортным
средствам.*





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

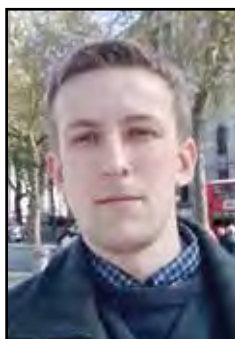
УДК 004.656.224.072.4:656.1

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-6>

Оценка применимости Wi-Fi-аналитики в исследованиях пассажиропотоков городского общественного транспорта на примере Москвы



Николай АЛЕКСЕЕВ



Павел ЗЮЗИН

*Николай Юрьевич Алексеев¹,
Павел Владимирович Зюзин²*

^{1,2} Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ), Москва, Россия.

✉ ¹ alekseev-trn@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

Описаны преимущества и недостатки существующих инструментов подсчёта пассажиропотоков на примере Москвы.

Целью исследования являлась оценка возможности использования Wi-Fi-данных в качестве инструмента для анализа пассажиропотоков. Авторы использовали два вида Wi-Fi-сканеров для сбора данных и задействовали разработанный ими инструмент для их анализа. Приведены первичные результаты исследования, демонстрирующие возможность реального использования Wi-Fi-данных в области анализа пассажиропотоков.

Описанные эмпирические исследования, в частности данные, полученные от переносного Wi-Fi-сканера, показали, что более 20 % мобильных устройств в городском общественном транспорте и метрополитене используются с включённым Wi-Fi, что недостаточно для получения необходимых для всестороннего и детального анализа пассажиропотоков результатов. Вместе с тем за счёт накопления данных сохраняется возможность прогнозирования общего пассажиропотока.

Переносной Wi-Fi-сканер не даёт возможности обширно захватить большую область исследуемой территории в режиме реального времени (остановки городского общественного транспорта, места входа пассажиров в метрополитен и т.д.). Стационарные Wi-Fi-сканеры могли бы увеличить объём данных и, соответственно, существенно скорректировать полученные результаты. Этому также может служить расширение применения данного инструмента изучения пассажиропотока на городские железнодорожные линии, в случае Москвы, на МЦК и МЦД, на станциях и в вагонах которых также присутствуют Wi-Fi-сети.

Данные от Wi-Fi-сканеров могут быть дополнительным инструментом к другим источникам данных, таким как валидация, АСМПП и данные сотовых операторов. Дальнейшие исследования в области Wi-Fi-аналитики в совокупности с развитием технологий в области уже существующих источников данных по подсчёту пассажиропотока могут привести к более качественным результатам для расчёта пассажиропотоков.

Ключевые слова: транспорт, городской общественный транспорт, метро, пассажиропотоки, анализ данных, Wi-Fi-аналитика.

Для цитирования: Алексеев Н. Ю., Зюзин П. В. Оценка применимости Wi-Fi-аналитики в исследованиях пассажиропотоков городского общественного транспорта на примере Москвы // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 3 (94). С. 54–66. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-6>.

**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

Для правильного планирования городской транспортной инфраструктуры и организации общественных пространств, транспортно-пересадочных узлов, маршрутов городского общественного транспорта, каршеринга, такси и принятия соответствующих решений, вне зависимости от применения в дальнейшем различных методов анализа данных, требуются максимально точные и релевантные исходные данные. Этот вопрос особенно важен применительно к мегаполисам с учётом масштабов указанных задач планирования и организации.

На территории Московской агломерации действует огромное количество маршрутов, использующих разные виды городского общественного транспорта, таких как автобус, троллейбус, трамвай, электробус, и метрополитен, включающий московское центральное кольцо (далее – МЦК) и московские центральные диаметры (далее – МЦД), являющиеся неотъемлемой частью городского общественного транспорта.

ГУП «Московский метрополитен» за 2018 год было перевезено более 2,5 млрд пассажиров¹, в том числе, ГУП «Мосгортранс» – более 1,28 млрд пассажиров². Данная статистика демонстрирует высокую нагрузку на городской общественный транспорт и требует ежедневного анализа пассажиропотоков, а также матрицы корреспонденций.

В числе инструментов первичного сбора данных традиционно выделяются валидация, видеодатчики пассажиропотоков (АСМПП), видеонаблюдение и другие.

С развитием цифровизации появились новые инструменты, такие как анализ больших данных. Одним из самых перспективных направлений является применение Wi-Fi-технологий. В настоящее время тема применения Wi-Fi-технологий для анализа пассажиропотоков получила определённое развитие.

Статьи, относящиеся к тематике Wi-Fi-аналитики, в большинстве случаев, так или иначе, связаны не с пассажиропотоками, а с пешеходными потоками (например, в ТПУ или пассажирских терминалах аэропортов, их транзитных зонах). Для того, чтобы измерить

и проанализировать поток пешеходов и пути их перемещений (корреспонденции), существует возможность использовать сенсорные технологии, такие как Wi-Fi-сканеры, которые предоставляют возможность понимания не только объёмов перемещений, но мест начала и окончания корреспонденций (последний аспект представляет собой особенно сложную задачу).

В изученных источниках авторами были протестированы различные Wi-Fi-сканеры с целью определения максимально возможного количества электронных устройств, т.е. обезличенных пешеходов [1]. Показана применимость технических решений для исследования потока пешеходов в части сбора данных. Также разработаны некоторые алгоритмы для фильтрации и анализа данных, собранных с электронных устройств [2]. Таким образом, в изученных исследованиях уделялось внимание технической стороне реализации мониторинга, в частности, использованию фильтров для устранения шумов от различных электронных устройств, и оценивалось среднее время перемещения пешеходов в подземном переходе [3; 4]. Однако этот фильтр не позволяет точно рассчитать количество движущихся пешеходов. Другие исследователи разработали систему для анализа потока пешеходов с использованием пакетных датчиков Wi-Fi [5] и показали, как можно реализовать систему обнаружения Wi-Fi и каковы некоторые из трудностей проектирования и управления такой системой как в небольших, так и в больших масштабах [6]. Исследователи [7] представили использование данных MAC-адресов в качестве эффективного инструмента для отслеживания и анализа пространственно-временной динамики пешехода с точки зрения поведения при использовании общего пространства. Разработан и оценена производительность системы Bluetooth-Wi-Fi при решении задач обнаружения анонимных MAC-адресов устройств на коротких расстояниях в фиксированных местах [8]. Возможности выведения пешеходных потоков были также изучены путём анализа схем обнаружения окружающих устройств Bluetooth [9].

Также авторы нескольких исследований указывали на проблемы, связанные с методами фильтрации Wi-Fi-данных [10; 11]. Результаты части исследований не были убедительны из-за отсутствия количественных измере-

¹ Данные ГУП «Московский метрополитен». [Электронный ресурс]: <http://www.metro-msk.ru/stat/2018/>. Доступ 23.03.2021.

² Данные ГУП «Мосгортранс». [Электронный ресурс]: <https://mosgortrans.ru/>. Доступ 23.03.2021.



ний. В нескольких исследованиях было проведено сравнение методов наблюдения за пассажиропотоком, включая такие его параметры, как количество пассажиров на борту, посадку и высадку на каждой остановке, основанных на результате фильтрации [12–14]. Очевидные расхождения между данными от наблюдения и результатами фильтрации Wi-Fi-данных указывают на значительные ошибки, вызванные жесткими пороговыми методами фильтрации. Следовательно, точный и эффективный способ разделения данных MAC-адресов, принадлежащих пассажирам и не пассажирам, весьма необходим.

В соавторстве с профессором Гонконгского политехнического университета Уильямом Х. К. Ламом одним из авторов данной работы Н. Ю. Алексеевым была написана статья [15], в которой описывается исследование по подсчёту пешеходов на территории Гонконгского политехнического университета. По результатам исследования, примерно от 32 до 40 % активных Wi-Fi-устройств от реального количества проследовавших пешеходов было обнаружено при помощи Wi-Fi-сканеров. Выводом данной статьи явилось то, что для прогнозирования пешеходных потоков нужно получить больше данных с Wi-Fi-сканеров за разные периоды времени (лето/зима/осень/весна, рабочий день/выходной день).

Целью данной работы является анализ использования Wi-Fi-данных для уточнения матрицы корреспонденций между остановочными пунктами городского общественного транспорта. Задачей работы является создание и тестирование алгоритма подсчёта пассажиропотока на общественном транспорте с использованием нового метода сбора данных, а именно Wi-Fi-сканера.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Виды источников данных о пассажиропотоке в городе Москве

На данный момент в Московской агломерации работает АСКП (автоматизированная система контроля проезда) «Мосгортранс» и система контроля проезда в ГУП «Метрополитен». Данные системы включают контроль за проездом с помощью единых транспортных карт (например, таких как «Тройка»), позволяющих пользоваться услугами всего городского общественного транспорта и метрополитеном. Также граждане используют

социальные карты пенсионеров, студентов и школьников. Для оплаты проезда граждане прикладывают карты к валидаторам, установленным в салонах городского общественного транспорта и при входе в Московский метрополитен. Каждый валидатор и карта имеют свой уникальный идентификационный номер, что позволяет в дальнейшем рассчитывать количество пассажиров, ежедневно пользующихся городским общественным транспортом, и проводить аналитику их перемещения.

Учитывая глобальное использование единых транспортных и социальных карт, полученные данные можно использовать для расчёта пассажиропотока. Данные позволяют определить количество вошедших пассажиров в городской общественный транспорт, метрополитен и, в дальнейшем, проводить анализ и прогноз пассажиропотока в Московской агломерации. Минусом подсчёта пассажиропотока при помощи данных от валидаторов является отсутствие данных о выходе из общественного транспорта и метрополитена, а также о местах пересадок пассажиров (данная проблема относится именно к метрополитену). Существует возможность спрогнозировать точку выхода пассажира по новой точке входа в городской общественный транспорт и метрополитен, но есть вероятность погрешности, по причине того, что предполагаемый пассажир может выйти из одной станции метро, а войти в другую. Например, при помощи валидации определить перемещение курьеров, пользующихся метрополитеном в течение своей поездки, является непосильной задачей. Более того, учитывая массовое отключение «принудительного» входа в городской общественный транспорт, многие пассажиры не оплачивают проезд, т.е. не используют единую транспортную карту или социальную карту, что может приводить к еще большей погрешности при подсчёте пассажиропотока. Аналогичной системой и, соответственно проблемами, обладает АО «Центральная ППК».

Другим источником данных является АСМПП (автоматическая система мониторинга пассажиропотока). Данная система оснащена видеодатчиками, расположенными над дверными проемами общественного транспорта. Видеодатчики считают количество вошедших и вышедших пассажиров. Минусом данной системы является то, что система не идентифицирует пассажира и не

Преимущества и недостатки существующих источников данных для подсчёта пассажиропотоков (составлено авторами)

| Источник данных | Преимущества | Недостатки |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Данные ГУП «Московский метрополитен» (валидация) | Достоверная информация о входе пассажиров в метро | Отсутствие информации о выходе пассажиров и их пересадки в метро |
| Данные АСКП «Мосгортранс» (валидация) | Достоверная информация о входе пассажиров в городской общественный транспорт | Отсутствуют данные о выходе пассажиров |
| Данные АСМПП «Мосгортранс» | Данные о входе/выходе пассажира без привязки к пассажиру | Отсутствие геопривязки данных с АСМПП, небольшая выборка данных |
| Данные АО «Центральная ППК» (валидация) | Данные о входе и выходе пассажиров на железной дороге | Недостаточное количество станций, оборудованных системой оплаты проезда |
| Данные ГЛОНАСС/GPS-треков НГПТ | Информация о местоположении городского общественного транспорта в любой момент времени | Отсутствие геопривязки данных с АСМПП |
| Данные операторов сотовой связи | Уточнение информации об объёмах перемещения граждан | Территориальная привязка с радиусом в 500 метров |

даёт понимания, кто и когда вошел в общественный транспорт и где вышел. Более того, не все средства городского общественного транспорта оснащены АСМПП. Установка АСМПП производится на точечные рейсы и маршруты для определения примерного пассажиропотока. Также, существует проблема синхронизации данных АСМПП с ГЛОНАСС/GPS-треками городского общественного транспорта.

Еще одним источником данных о перемещении пассажиров являются данные от операторов сотовой связи. Существует проект «Геосоциальная аналитика» (ГСА) на базе данных операторов сотовой связи, целью которого является сбор данных о населении, о динамике его перемещений, о нагрузке на транспортную инфраструктуру путем анализа нагрузки на сотовую сеть операторов мобильной связи. При помощи данного проекта изучаются места концентрации населения и перемещения сотовых абонентов. Разброс данных составляет 500 м на 500 м, что является большим диапазоном при рассмотрении небольших перемещений населения.

В табл. 1 приведены преимущества и недостатки существующих источников данных по подсчёту пассажиропотоков.

Учитывая описанные выше источники данных о пассажиропотоках, авторы обращают внимание на факт отсутствия источника данных, который позволил бы определить точку выхода из городского общественного транспорта (из автобуса, трамвая, троллейбуса, электробуса) и из метрополитена, включая МЦД, МЦК. Именно по этой причине авто-

рами была рассмотрена возможность использования нового вида источника данных – данных, получаемых от Wi-Fi-сканеров.

Wi-Fi-аналитика как источник данных.

Виды Wi-Fi-сканеров

В настоящее время утверждается, что более 80 % людей использовали хотя бы одно мобильное Wi-Fi-устройство в повседневной жизни [16]. Таким образом, оценка пассажиропотока на основе Wi-Fi-данных имеет большой потенциал, чтобы стать более надёжным методом по сравнению с рядом ныне применяемых.

На территории Московской агломерации с целью увеличения привлекательности городского общественного транспорта действует единая Wi-Fi-сеть под наименованием MT FREE. Данная Wi-Fi-сеть включает в себя Wi-Fi-роутеры, установленные во всех транспортных средствах, на остановках городского общественного транспорта и в вагонах метрополитена. Данная Wi-Fi-сеть является бесплатной для всех жителей и гостей Московской агломерации, но она имеет рекламный контент. Для отключения рекламного контента предполагаемому пользователю предлагается вносить ежемесячный платёж. Единственным условием для пользования данной бесплатной Wi-Fi-сети является регистрация в личном кабинете MT FREE.

Имея в виду наличие обширной Wi-Fi-сети в Московской агломерации, на основании имеющегося подобного опыта применительно к другим задачам и локациям, авторы предположили возможность использования





Рис. 1. Изображение Wi-Fi-сканера № 1 – Meshlium Xtreme.

Wi-Fi-данных для определения мест входа и выхода предполагаемых пассажиров.

В рамках работы авторами были проведены исследования по подсчёту пассажиропотока при помощи двух Wi-Fi-сканеров на общественном транспорте, в частности, на общественных остановках, в автобусах и вагонах метро.

Для исследования были использованы два Wi-Fi-сканера с функцией обнаружения электронных устройств. Каждый Wi-Fi-сканер имеет собственную зону обнаружения, которая зависит от мощности антенны Wi-Fi, измеренной в децибелах. Электронное устройство определяется по его уникальному MAC-адресу. MAC-адрес – это уникальный идентификатор, предоставляемый производителем

для каждого электронного устройства и имеющий шестибайтовый номер (LL: LL: LL: XX: XX: XX), в котором первые три байта определяют производителя электронного устройства (LL: LL: LL).

Wi-Fi-сканер имеет индикатор силы полученного сигнала (RSSI). Зона расположения электронного устройства может определяться силой сигнала. Поскольку, предположительно, электронное устройство с включенным Wi-Fi-используется пассажиром городского общественного транспорта, возможно определить треки перемещений (матрицу корреспонденций) предполагаемых пассажиров, а именно места начала перемещения и его окончания.

Первый Wi-Fi-сканер был получен для проведения тестовых испытаний у дистрибьютера на территории Российской Федерации (производитель: Libelium (Испания), модель: Meshlium Xtreme). Данное устройство имеет большие габариты и преимущественно предназначено для статического использования.

Принципом работы Wi-Fi-сканера является поиск активных Wi-Fi-устройств в радиусе его действия. Wi-Fi-сканер сканирует активные Wi-Fi-устройства (смартфоны, ноутбуки, планшеты, принтеры, МФУ и т.д.) в радиусе своего действия и в ответ получает MAC-адреса отсканированных устройств в режиме онлайн. Вместе с MAC-адресами Wi-Fi-сканер получает следующие данные:

1. ID_frame – номер строки.
2. Timestamp (отметка времени) – время полученной отметки.
3. Date – Дата.

Таблица 2

Пример исходных данных, полученных от Wi-Fi-сканера Meshlium Xtreme в процессе исследования

| ID_frame | Timestamp | MAC | SSID | RSSI | Vendor | Type | AP | MeshliumID |
|----------|------------------|-------------------|--------------|------|----------------------------------|------|----|----------------|
| 1 | 18.10.2019 16:53 | 44:1C:A8:20:61:63 | HP-Print-63 | -74 | Hon Hai Precision Ind. Co., Ltd. | A | | 17060143649518 |
| 2 | 18.10.2019 16:53 | 40:16:7E:C3:B4:68 | | -79 | ASUSTek COMPUTER INC. | A | | 17060143649518 |
| 3 | 18.10.2019 16:53 | 78:8A:20:71:0E:78 | | -78 | Ubiquiti Networks Inc. | A | | 17060143649518 |
| 4 | 18.10.2019 16:53 | 8A:8A:20:71:0D:7D | SDP-secure | -71 | Unknown | A | | 17060143649518 |
| 5 | 18.10.2019 16:53 | 76:4D:28:0D:38:91 | | -60 | Unknown | A | | 17060143649518 |
| 6 | 18.10.2019 16:53 | 76:4D:28:0D:38:8F | | -60 | Unknown | A | | 17060143649518 |
| 7 | 18.10.2019 16:53 | 74:4D:28:0D:38:8F | | -61 | Routerboard.com | A | | 17060143649518 |
| 8 | 18.10.2019 16:53 | 76:4D:28:0D:38:90 | ENFORTA | -60 | Unknown | A | | 17060143649518 |
| 9 | 18.10.2019 16:53 | E0:E6:2E:55:17:BE | Mac Book Pro | -59 | TCT Mobile, Ltd. | A | | 17060143649518 |

4. MAC – MAC-адрес отсканированного устройства.

5. SSID – «наименование» устройства (32-значный буквенно-цифровой код).

6. RSSI (received signal strength indicator) – показатель уровня принимаемого сигнала.

7. Vendor – производитель (продавец) обнаруженного устройства.

8. Type – тип устройства (A-C).

9. AP – устройство (роутер), к которому привязано обнаруженное устройство.

10. MeshliumID – номер Wi-Fi-сканера Meshlium Xtreme.

Выше приведён пример исходных данных от Wi-Fi-сканера Meshlium Xtreme (табл. 2).

Данный Wi-Fi-сканер имеет встроенную память, что позволяет записывать полученные данные и, в дальнейшем, выгружать их на локальный сервер.



Рис. 2. Изображение Wi-Fi-сканера № 2 – TP-LINK в сборе.

Таблица 3

Данные от визуального осмотра и Wi-Fi-сканера 25 августа 2019 года
(маршрут автобуса № 906-экспресс)

| День недели | Дата | Время | Остановка | Количество пассажиров | Вошло в автобус | Вышло из автобуса | Wi-Fi-данные: Количество уникальных MAC-адресов (не менее 5 повторений) |
|--------------------------------------------|------------|-------|-----------------------------|-----------------------|-----------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Маршрут № 906 (ул. Б. Бутовская–Захарьино) | | | | | | | |
| Воскресенье | 25.08.2019 | 16:07 | Метро «Аннино» | 19 | 10 | 0 | 3 |
| Воскресенье | 25.08.2019 | 16:14 | Ул. Б. Бутовская | 19 | 0 | 0 | 3 |
| Воскресенье | 25.08.2019 | 16:20 | Поворот на Милицейский пос. | 20 | 1 | 0 | 4 |
| Воскресенье | 25.08.2019 | 16:23 | Ул. Марш. Савицкого | 20 | 0 | 0 | 4 |
| Воскресенье | 25.08.2019 | 16:24 | Ледовый дворец | 20 | 0 | 0 | 4 |
| Воскресенье | 25.08.2019 | 16:25 | Ул. Марш. Савицкого, 22 | 20 | 0 | 0 | 4 |
| Воскресенье | 25.08.2019 | 16:27 | Центр госуслуг | 17 | 0 | 3 | 4 |
| Воскресенье | 25.08.2019 | 16:29 | Молодцовский пр. | 11 | 0 | 6 | 3 |
| Воскресенье | 25.08.2019 | 16:31 | Ул. Брусилова, 31 | 11 | 0 | 0 | 0 |
| Воскресенье | 25.08.2019 | 16:32 | Ул. Брусилова, 21 | 6 | 0 | 5 | 0 |
| Воскресенье | 25.08.2019 | 16:34 | Ул. Брусилова | 6 | 0 | 0 | 0 |
| Воскресенье | 25.08.2019 | 16:35 | Захарьино (конечная) | 0 | 0 | 6 | 0 |
| Маршрут № 906 (Захарьино–ул. Б. Бутовская) | | | | | | | |
| Воскресенье | 25.08.2019 | 16:50 | Захарьино (начальная) | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Воскресенье | 25.08.2019 | 16:51 | Ул. Брусилова | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Воскресенье | 25.08.2019 | 16:52 | Ул. Брусилова, 21 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Воскресенье | 25.08.2019 | 16:54 | Ул. Брусилова, 31 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Воскресенье | 25.08.2019 | 16:55 | Молодцовский пр. | 3 | 2 | 0 | 0 |
| Воскресенье | 25.08.2019 | 16:56 | Центр госуслуг | 6 | 3 | 0 | 1 |
| Воскресенье | 25.08.2019 | 16:58 | Ул. Марш. Савицкого, 22 | 6 | 0 | 0 | 1 |
| Воскресенье | 25.08.2019 | 17:00 | Ледовый дворец | 16 | 10 | 0 | 2 |
| Воскресенье | 25.08.2019 | 17:02 | Ул. Марш. Савицкого | 29 | 13 | 0 | 6 |
| Воскресенье | 25.08.2019 | 17:03 | Поворот на Милицейский пос. | 29 | 0 | 0 | 6 |
| Воскресенье | 25.08.2019 | 17:09 | Ул. Б. Бутовская | 29 | 0 | 0 | 6 |

Результат: в среднем, более 20 % предполагаемых пассажиров имеют включенный модуль Wi-Fi на мобильном устройстве.



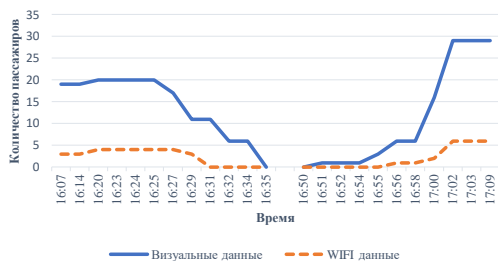


Рис. 3. Данные от визуального осмотра и Wi-Fi-сканера 25 августа 2019 года (маршрут автобуса № 906-экспресс).

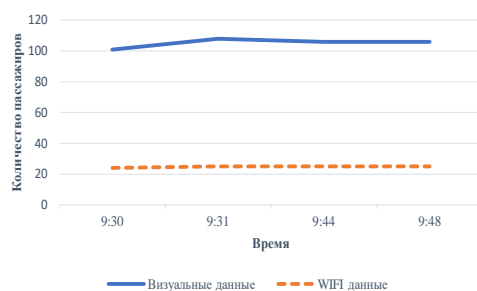


Рис. 4. Данные от визуального осмотра и Wi-Fi-сканера 18 ноября 2019 года (маршрут автобуса № 802).

Таблица 4

Данные от визуального осмотра и Wi-Fi-сканера 18 ноября 2019 года (маршрут автобуса № 802)

| День недели | Дата | Время | Остановка | Количество пассажиров | Вошло в автобус | Вышло из автобуса | Wi-Fi-данные: количество уникальных MAC-адресов (не менее 5 повторений) |
|---------------|------------|-------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Маршрут № 802 | | | | | | | |
| Понедельник | 18.11.2019 | 9:30 | Большая Бутовская | 101 | 15 | 0 | 24 |
| Понедельник | 18.11.2019 | 9:31 | Варшавское шоссе, д. 190 | 108 | 7 | 0 | 25 |
| Понедельник | 18.11.2019 | 9:44 | 7-й В микрорайон Северного Бутова | 106 | 0 | 2 | 25 |
| Понедельник | 18.11.2019 | 9:48 | Старокачаловская, д. 1 | 106 | 0 | 0 | 25 |
| Понедельник | 18.11.2019 | 9:49 | Метро Бульвар Дмитрия Донского | 5 | 0 | 101 | 0 |

Результат: в среднем, более 23 % предполагаемых пассажиров имеют включенный модуль Wi-Fi на мобильном устройстве.

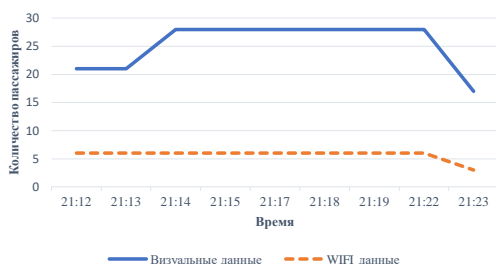


Рис. 5. Данные от визуального осмотра и Wi-Fi-сканера 28 ноября 2019 года (маршрут автобуса № 249).

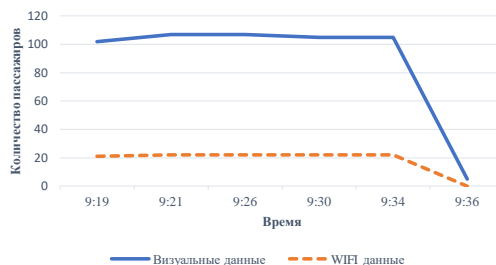


Рис. 6. Данные от визуального осмотра и Wi-Fi-сканера 29 ноября 2019 года (маршрут автобуса № 737).

Также данный Wi-Fi-сканер имеет Bluetooth-сканер, но в рамках данной работы Bluetooth-сканер не использовался.

Второй Wi-Fi-сканер был приобретен у организации, занимающейся Wi-Fi-аналитикой на территории Российской Федерации, а именно, анализом поведения потенциальных покупателей в торговых центрах. В основном данная организация использует Wi-Fi-сканеры, стационарно установленные в торговых центрах.

Для решения поставленной исследователями задачи был создан «переносной» Wi-Fi-сканер. Данный «переносной» Wi-Fi-сканер состоит из следующих элементов:

1. TP-LINK TL-MR3020 v3.2 – Wi-Fi-роутер, перенастроенный на Wi-Fi-сканер.
2. Powerbank mi 20000 – переносной источник питания для Wi-Fi-сканера и GSM-модема.
3. Huawei E8231 – GSM-модем.

**Данные от визуального осмотра и Wi-Fi-сканера 28 ноября 2019 года
(маршрут автобуса № 249)**

| День недели | Дата | Время | Остановка | Количество пассажиров | Вошло в автобус | Вышло из автобуса | Wi-Fi-данные: Количество уникальных MAC-адресов (не менее 5 повторений) |
|---------------|------------|-------|------------------------------------|-----------------------|-----------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Маршрут № 249 | | | | | | | |
| Четверг | 28.11.2019 | 21:12 | Метро Улица Академика Янгеля | 21 | 21 | 0 | 6 |
| Четверг | 28.11.2019 | 21:13 | Кирпичные Выемки | 21 | 0 | 0 | 6 |
| Четверг | 28.11.2019 | 21:14 | Метро Аннино | 28 | 7 | 0 | 6 |
| Четверг | 28.11.2019 | 21:15 | Метро Аннино (Южный вестибюль) | 28 | 0 | 0 | 6 |
| Четверг | 28.11.2019 | 21:17 | Варшавское шоссе (МКАД) | 28 | 0 | 0 | 6 |
| Четверг | 28.11.2019 | 21:18 | Северное Бутово (Варшавское шоссе) | 28 | 0 | 0 | 6 |
| Четверг | 28.11.2019 | 21:19 | Ботанический сад | 28 | 0 | 0 | 6 |
| Четверг | 28.11.2019 | 21:22 | Варшавское шоссе, д. 190 | 28 | 0 | 0 | 6 |
| Четверг | 28.11.2019 | 21:23 | Большая Бутовская | 17 | 0 | 11 | 3 |

Результат: в среднем, более 21 % предполагаемых пассажиров имеют включенный модуль Wi-Fi на мобильном устройстве.

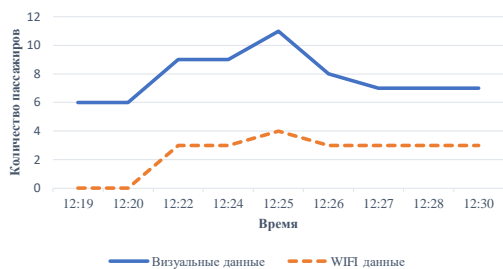


Рис. 7. Данные от визуального осмотра и Wi-Fi-сканера 20 марта 2020 года (маршруты автобуса № 249).



Рис. 8. Данные от визуального осмотра и Wi-Fi-сканера 20 марта 2020 года (маршруты автобуса № 858).

4. Неисключительная лицензия на использование программного продукта «Shopster Analytics».

ОПИСАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Подсчёт пассажиров производился двумя способами:

- Натурный (визуальный подсчёт количества пассажиров в автобусе в точках входа/выхода в/из автобуса и входа/выхода пассажиров на конкретных остановках с привязкой ко времени).

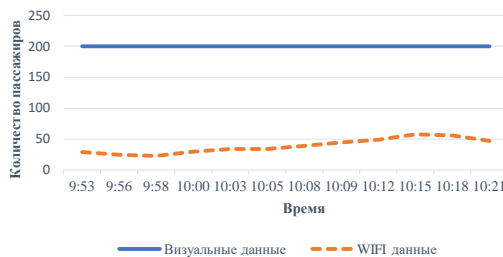


Рис. 9. Данные от визуального осмотра и Wi-Fi-сканера 18 ноября 2019 года (участок Серпуховско-Тимирязевской линии метро).





Таблица 6

**Данные от визуального осмотра и Wi-Fi-сканера 29 ноября 2019 года
(маршрут автобуса № 737)**

| День недели | Дата | Время | Остановка | Количество пассажиров | Вошло в автобус | Вышло из автобуса | Wi-Fi-данные: Количество уникальных MAC-адресов (не менее 5 повторений) |
|---------------|------------|-------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Маршрут № 737 | | | | | | | |
| Пятница | 29.11.2019 | 9:19 | Большая Бутовская | 102 | 15 | 0 | 21 |
| Пятница | 29.11.2019 | 9:21 | Варшавское шоссе, д. 190 | 107 | 5 | 0 | 22 |
| Пятница | 29.11.2019 | 9:26 | 7-й В микрорайон Северного Бутова | 107 | 0 | 0 | 22 |
| Пятница | 29.11.2019 | 9:30 | Грина, д. 20 | 105 | 0 | 2 | 22 |
| Пятница | 29.11.2019 | 9:34 | Грина | 105 | 0 | 0 | 22 |
| Пятница | 29.11.2019 | 9:36 | Метро Бульвар Дмитрия Донского | 5 | 0 | 0 | 0 |

Результат: в среднем, более 20 % предполагаемых пассажиров имеют включенный модуль Wi-Fi на мобильном устройстве.

Таблица 7

**Данные от визуального осмотра и Wi-Fi-сканера 20 марта 2020 года
(маршруты автобуса № 249, 858)**

| День недели | Дата | Время | Остановка | Количество пассажиров | Вошло в автобус | Вышло из автобуса | Wi-Fi-данные: Количество уникальных MAC-адресов (не менее 5 повторений) |
|---------------|------------|-------|--------------------------------------|-----------------------|-----------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Маршрут № 249 | | | | | | | |
| Пятница | 20.03.2020 | 12:19 | Большая Бутовская | 6 | 3 | 0 | 0 |
| Пятница | 20.03.2020 | 12:20 | Школа (ул. Большая Бутовская) | 6 | 0 | 0 | 0 |
| Пятница | 20.03.2020 | 12:22 | Станция МЦД Бутово | 9 | 3 | 0 | 3 |
| Пятница | 20.03.2020 | 12:24 | 2-я Мелитопольская | 9 | 0 | 0 | 3 |
| Пятница | 20.03.2020 | 12:25 | Поликлиника (ул. 2-я Мелитопольская) | 11 | 2 | 0 | 3 |
| Пятница | 20.03.2020 | 12:26 | Новоникольское | 8 | 0 | 3 | 3 |
| Пятница | 20.03.2020 | 12:27 | Варшавское шоссе, д. 261 | 7 | 3 | 4 | 3 |
| Пятница | 20.03.2020 | 12:28 | Щербинка (Симферопольское шоссе) | 7 | 0 | 0 | 3 |
| Пятница | 20.03.2020 | 12:30 | Поворот на Милицейский пос. | 7 | 0 | 0 | 3 |
| Маршрут № 858 | | | | | | | |
| Пятница | 20.03.2020 | 12:19 | Поворот на Милицейский пос. | 25 | 1 | 0 | 6 |
| Пятница | 20.03.2020 | 12:20 | 1-я Мелитопольская | 26 | 1 | 0 | 6 |

Результат: в среднем, более 23 % предполагаемых пассажиров имеют включенный модуль Wi-Fi на мобильном устройстве.

Таблица 8

**Данные от визуального осмотра и Wi-Fi-сканера 18 ноября 2019 года
(Участок Серпуховско–Тимирязевской линии метро)**

| День недели | Дата | Время | Станция метро | Количество пассажиров (примерное) | Количество уникальных mac-адресов (не менее 5 повторений) | % Обнаруженных Wi-Fi-устройств от общего количества пассажиров |
|---------------------------------------|------------|-------|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Серпуховско–Тимирязевская линия метро | | | | | | |
| Понедельник | 18.11.2019 | 9:53 | ст. Бульвар Дмитрия Донского | 200 | 29 | 14,5 |
| Понедельник | 18.11.2019 | 9:56 | ст. Аннино | 200 | 25 | 12,5 |
| Понедельник | 18.11.2019 | 9:58 | ст. Улица Академика Янгеля | 200 | 23 | 11,5 |
| Понедельник | 18.11.2019 | 10:00 | ст. Пражская | 200 | 30 | 15 |
| Понедельник | 18.11.2019 | 10:03 | ст. Южная | 200 | 34 | 17 |
| Понедельник | 18.11.2019 | 10:05 | ст. Чертановская | 200 | 34 | 17 |
| Понедельник | 18.11.2019 | 10:08 | ст. Севастопольская | 200 | 39 | 19,5 |
| Понедельник | 18.11.2019 | 10:09 | ст. Нахимовский проспект | 200 | 45 | 22,5 |
| Понедельник | 18.11.2019 | 10:12 | ст. Нагорная | 200 | 49 | 24,5 |
| Понедельник | 18.11.2019 | 10:15 | ст. Нагатинская | 200 | 58 | 29 |
| Понедельник | 18.11.2019 | 10:18 | ст. Тульская | 200 | 56 | 28 |
| Понедельник | 18.11.2019 | 10:21 | ст. Серпуховская | 200 | 47 | 23,5 |

Результат: в среднем, более 20 % предполагаемых пассажиров имеют включенный модуль Wi-Fi на мобильном устройстве.

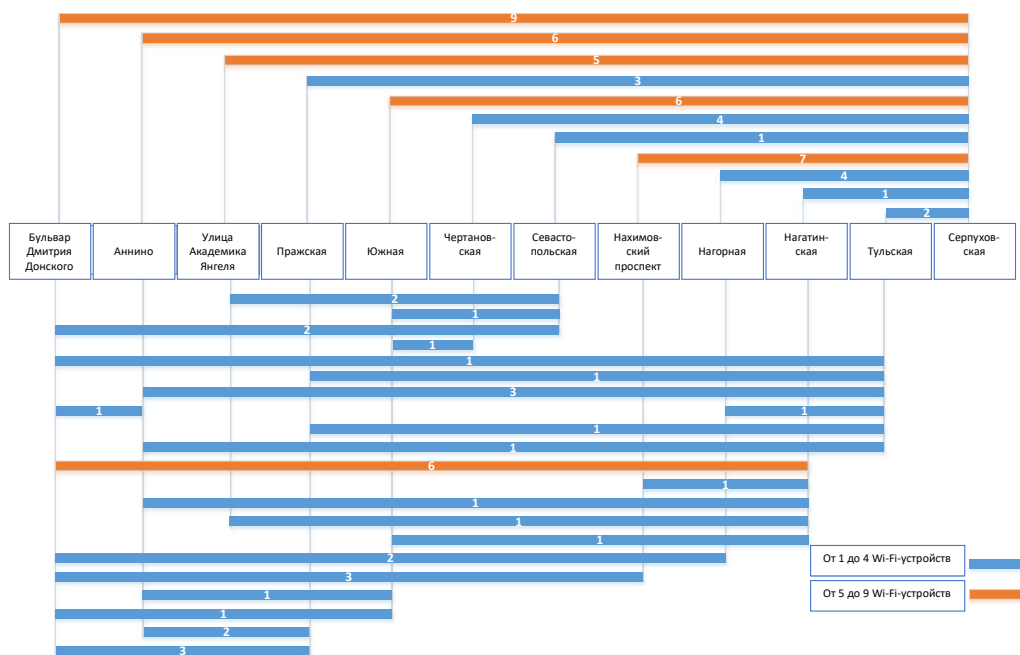


Рис. 10. Матрица корреспонденций Wi-Fi-устройств («потенциальных» пассажиров) между ст. Бульвар Дмитрия Донского и ст. Серпуховская (18.11.2019 г., с 9:53 до 10:21).



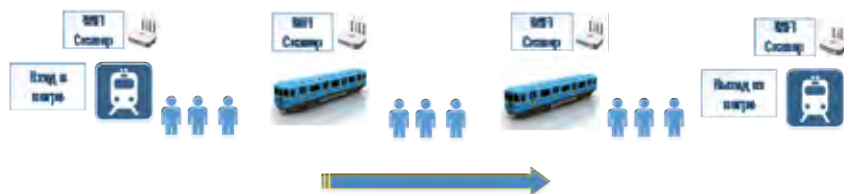
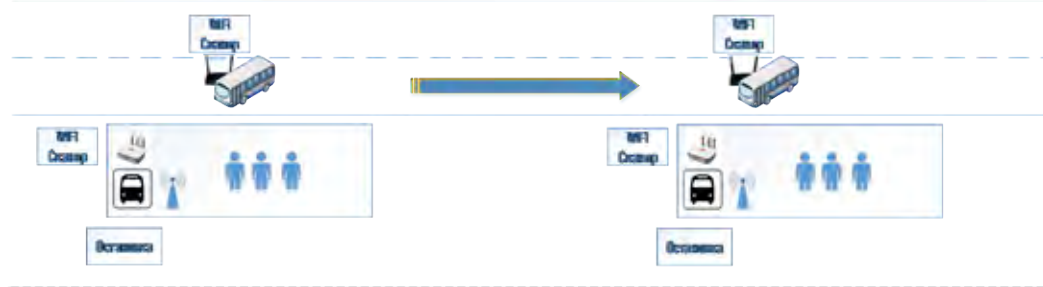


Рис. 11. Блок-схема размещения Wi-Fi-сканеров.

• Сканирование Wi-Fi-устройств на остановках и внутри общественного транспорта с привязкой ко времени при помощи «переносного» Wi-Fi-сканера.

Полученные исходные данные переносились в созданный Framework на базе Excel. Framework имеет следующие степени фильтрации:

1. Удаление «шума». Под шумом подразумеваются все Wi-Fi-устройства, обнаруженные в радиусе действия Wi-Fi-сканера, которые являются роутерами, маршрутизаторами и т.д. То есть подразумевается, что роутеры и другие аналогичные устройства не могут рассматриваться в качестве предполагаемого пассажира.

2. Удаление MAC-адресов, имеющих одну-две отметки. Данное устройство Wi-Fi даёт возможность сканировать зону в режиме реального времени. На практике для обнаружения перемещения предполагаемых пассажиров необходимо от 5 обнаружений в разные периоды времени.

Далее проводится анализ полученных данных. Исследования были проведены в следующие даты:

25 августа 2019 года (маршрут автобуса № 906-экспресс);

18 ноября 2019 года (маршрут автобуса № 802 + Участок Серпуховско-Тимирязевской линии метро);

28 ноября 2019 года (маршрут автобуса № 249);

29 ноября 2019 года (маршрут автобуса № 737);

20 марта 2020 года (маршруты автобуса № 249, 858).

Полученные данные из городского общественного транспорта (автобуса) приведены в таблицах 3–7 и изображены на рис. 3–8, а из метрополитена в таблице 8 и рис. 9.

Данные в вышеуказанных таблицах демонстрируют, что в среднем более 20 % предполагаемых пассажиров имеют включенный модуль Wi-Fi на мобильных устройствах, что позволяет определить матрицу корреспонденций некоторого количества «пассажиров» как в городском общественном транспорте, так и в метрополитене.

На рис. 10 приведён график матрицы корреспонденций, полученный в результате анализа данных, поступивших от Wi-Fi-сканера в вагоне метрополитена. Данные результаты были получены исключительно от «переносного» Wi-Fi-сканера.

Сопоставляя визуальные данные (обзор количества пассажиров в вагоне) и данные Wi-Fi, в результате исследования было выявлено, что в среднем более 20 % от присутствующих пассажиров в вагоне перемещаются с включенным Wi-Fi на мобильном устройстве.

Еще одной особенностью Wi-Fi-сканера является то, что для получения данных мобильному устройству не нужно подключаться к сети MT FREE, достаточно иметь включенный Wi-Fi на мобильном устройстве.

По результатам первичного анализа результатов исследования можно сделать вывод, что данных может быть недостаточно, по этой причине исследователи предполагают, что для улучшения полученных результатов необходимо использовать следующую схему установки Wi-Fi-сканеров, изображенную на рис. 11.

В идеальных условиях необходимо установить 1 Wi-Fi-сканер в автобус, 1 Wi-Fi-сканер на остановку городского общественного транспорта, 1 Wi-Fi-сканер на входе в метро, 1 Wi-Fi-сканер в вагон метро, 1 Wi-Fi-сканер на выход из метро. Данное расположение позволит в значительной степени улучшить результат по исследованию пассажиропотока.

Также для исключения «натурного» способа необходимо использовать данные от АСМПП и навигационных терминалов, установленных в городском общественном транспорте, что позволит определить дату и время заезда на остановку городского общественного транспорта и реальное количество вошедших и вышедших пассажиров.

В результате мы получим данные о дате, времени и MAC-адресе устройства и данные от навигационного терминала. Обработав полученную информацию, мы сможем определить, в какой конкретный момент времени и на какой конкретной остановке устройство (MAC-адрес) осуществило вход и выход. Это позволит более детально проводить анализ пассажиропотока.

Исследователи подтверждают, что все полученные данные использовались исключительно в рамках исследовательской деятельности, без привязки к конкретным пассажирам. MAC-адреса устройств не являются персональными данными. MAC-адреса устройств являются техническими данными. Все полученные данные с Wi-Fi-сканеров использовались исключительно для определения точек входа и выхода конкретных MAC-адресов на остановках общественного пользования. Все данные

анонимны. Анонимный характер связан с использованием MAC-адресов в качестве идентификаторов. MAC-адреса не связаны ни с какой конкретной учётной записью пользователя или мобильным телефоном, даже с каким-либо конкретным транспортным средством. Кроме того, режим «активного» поиска Wi-Fi-сети на мобильном устройстве является выбором каждого конкретного предполагаемого пассажира.

ВЫВОДЫ

Полученные результаты демонстрируют перспективу развития Wi-Fi-технологий. В Москве и Московской области все большее количество предполагаемых пассажиров будет использовать городской общественный транспорт, пересекаясь с личными автомобилями на общественный транспорт. Этот факт учитывается введением новых инструментов, направленных на увеличение привлекательности городского общественного транспорта, таких как адаптивное управление светофорами, т. е. приоритет проезду общественного транспорта. И, соответственно, можно предположить, что пассажиров, пользующихся городским общественным транспортом, метрополитеном, будет значительно больше. Соответственно, все большее количество пассажиров будет подключаться к бесплатным Wi-Fi-сетям. Исследователи наблюдают все большее количество пассажиров, потребляющих контент на мобильных устройствах из интернета в своих ежедневных поездках на общественном транспорте, используя мобильный интернет (GPRS) или Wi-Fi-сети.

На данный момент из полученных данных от «переносного» Wi-Fi-сканера можно сделать предварительный вывод, что более 20 % мобильных устройств в городском общественном транспорте и метрополитене используются с включённым Wi-Fi, что в явном виде недостаточно. Но существует вероятность прогнозирования пассажиропотока при помощи накопленных данных.

Исследователи считают, что «переносной» Wi-Fi-сканер не даёт возможности обширно захватить большую область исследуемой территории в режиме реального времени (остановки городского общественного транспорта, места входа пассажиров в метрополитен и т. д.). Стационарные Wi-





Fi-сканеры могли бы увеличить объём данных и, соответственно, существенно скорректировать полученные результаты.

Также исследователи предполагают, что помимо изучения пассажиропотока в городском общественном транспорте, исследования требуется проводить на станциях и в вагонах МЦК и МЦД, в которых тоже присутствуют Wi-Fi-сети.

Исходя из полученных результатов, исследователи делают вывод, что для полной картины пассажиропотока данные от Wi-Fi-сканеров могут быть дополнительным инструментом к другим источникам данных, таким как валидация, АСМПП и данных сотовых операторов. По этой причине, исследователи считают, что дальнейшее исследование в области Wi-Fi-аналитики в совокупности с развитием уже существующих источников данных по подсчёту пассажиропотока могут привести к более качественным результатам для расчёта пассажиропотоков.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. 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, Iss. 60, pp. 124–141. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.08.010>.
2. Kurkcu, A., Ozbay, K. Estimating Pedestrian Densities, Wait Times, and Flows with Wi-Fi-and Bluetooth Sensors. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2017, Vol. 2644. DOI: 10.3141/2644-09.
3. Li, Z., Lam, W. H. K., Wepulanon, P., Qin, Z. Estimating Pedestrian Walking Time on Campus Based on Wi-Fi-Detection Data. *Proceedings of the 22nd International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies*, Hong Kong, 9–11 December 2017, pp. 233–240. ISBN (Electronic) 9789881581464.
4. Wepulanon, P., Lam, W. H. K., Sumalee, A. Pedestrian Facility Usage Monitoring Using Multiple Sources of Data. *Proceedings of the 22nd International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies*, Hong Kong, 9–11 December 2017, pp. 117–124. ISBN (Electronic) 9789881581464.
5. Fukuzaki, Y., Mochizuki, M., Nishio, N., Murao, K. A Pedestrian Flow Analysis System using Wi-Fi-Packet Sensors to a Real Environment. *Conference: The Second workshop for Human Activity Sensing Corpus and its Application*, Seattle, USA, 13–17 September 2014, pp. 721–730. DOI: 10.1145/2638728.2641312.
6. Petre, A. C., Chilipirea, C., Baratchi, M., Dobre, C., Steen, van M. Wi-Fi-tracking of pedestrian behavior. *Smart Sensors Networks Communication Technologies and Intelligent*

Applications Intelligent Data-Centric Systems 2017, pp. 309–337. DOI:10.1016/B978-0-12-809859-2.00018-8.

7. Abedi, N., Bhaskar, A., Chung, E. Tracking spatio-temporal movement of human in terms of space utilization using Media-Access-Control address data. *Applied Geography*, 2014, Vol. 51, pp. 72–81. DOI: 10.1016/j.apgeog.2014.04.001.

8. Lesani, A., Miranda-Moreno, L. F. Development and Testing of a Real-Time Wi-Fi-Bluetooth System for Pedestrian Network Monitoring and Data Extrapolation. *Proceedings of the 95th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, 21 January 2016. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2018, pp. 1–13. DOI: 10.1109/TITS.2018.2854895.

9. Nishide, R., Takada, H. Detecting Pedestrian Flows on a Mobile Ad Hoc Network and Issues with Trends and Feasible Applications. *International Journal on Advances in Networks and Services*, 2013, Vol. 6, Iss. 1-2, pp. 108–117.

10. Dunlap, M., Li, Z., Henrickson, K., Wang, Y. Estimation of Origin and Destination Information from Bluetooth and Wi-Fi-Sensing for Transit. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2016, Vol. 2595, pp. 11–17. DOI: 10.3141/2595-02.

11. Mishalani, R. G., McCord, M. R., Reinhold, T. Use of Mobile Device Wireless Signals to Determine Transit Route-Level Passenger Origin-Destination Flows: Methodology and Empirical Evaluation. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2016, Vol. 2544, pp. 123–130. DOI: 10.3141/2544-14.

12. Hidayat, A., Terabe, S., Yaginuma, H. WiFi Scanner Technologies for Obtaining Travel Data about Circulator Bus Passengers: Case Study in Obuse, Nagano Prefecture, Japan. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2018, Vol. 2672, pp. 036119811877615. DOI: 10.1177/0361198118776153.

13. Ji, Yuxiong; Zhao, Jizhou; Zhang, Zhiming; Du, Yuchuan. Estimating Bus Loads and OD Flows Using Location-Stamped Farebox and Wi-Fi Signal Data. *Journal of Advanced Transportation*, 2017, pp. 1–10. DOI: 10.1155/2017/6374858.

14. 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: 10.1016/j.protcy.2014.11.023.

15. Alekseev, N., Lam, W. H. K. Estimation of Pedestrian Flow Based on Wi-Fi Data and Video Cameras. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 2019, Vol. 13, pp. 93–101. DOI: <https://doi.org/10.11175/easts.13.93>.

16. Global mobile phone internet user penetration 2019. *Statistic*. [Электронный ресурс]: <https://www.statista.com/statistics/284202/mobile-phone-internet-user-penetration-worldwide/>. Доступ 22.03.2021.

17. Solanki, M. J., Umrigar, F. S., Zala, L. B., Amin, A. Application of Moving Car Observer Method for Measuring Travel Time, Delay & Vehicle Flow under Heterogeneous Traffic Condition of C.B.D. Area: Case Study of Surat-Rajmarg (Chowk to Delhi Gate). *International Journal of Current Engineering and Technology*, 2016, pp. 799–803. [Электронный ресурс]: <http://www.metro.tokyo.jp/ENGLISH/ABOUT/HISTORY>. Доступ 22.03.2021. ●

Информация об авторах:

Алексеев Николай Юрьевич – магистр, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ), Москва, Россия, alekseev-tm@mail.ru.

Зюзин Павел Владимирович – кандидат географических наук, старший научный сотрудник Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ), Москва, Россия, zyuzin86@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 09.04.2021, одобрена после рецензирования 25.06.2021, принята к публикации 05.07.2021.



Анализ пассажиропотоков, обслуживаемых автобусными маршрутами Худжанда



Рахмиддин САЛОМЗОДА



Музаффар БОБОЕВ

*Рахмиддин Саломзода¹,
Музаффар Мухиддинович Бобоев²*

¹ Таджикский технический университет имени академика М. С. Осими, Душанбе, Республика Таджикистан.

² Политехнический институт Таджикского технического университета имени академика М. С. Осими, Худжанд, Республика Таджикистан.

✉ ¹ salomzoda1975@gmail.com.

АННОТАЦИЯ

Рассмотрена роль пассажирского автомобильного транспорта как одной из важнейших отраслей народного хозяйства, которая влияет на всю экономику страны в целом и её регионов и на качество жизни населения.

Проведён анализ работы транспорта г. Худжанда, в котором в основном доминирует автомобильный транспорт.

Проанализированы результаты проведённого обследования пассажиропотоков автобусных маршрутов города Худжанда, в том числе в плане матрицы пассажиропотоков, собираемости платы за проезд.

Сделан вывод о целесообразности систематического обследования пассажиропотоков в целях оптимизации предложений по развитию городского общественного транспорта.

В теоретическом плане определены основные проблемы организации пассажирских перевозок, в числе которых отсутствие регулярного графика движения транспортных средств на определённых маршрутах, несоблюдение графика движения, что приводит к увеличению времени передвижения пассажиров на транспорте, изменению маршрутов следования из-за отсутствия пассажиров, к систематическим нарушениям правил дорожного движения, чрезмерно длительным по времени остановкам на узловых остановочных пунктах и пр. Предложены

подходы к снижению влияния организационно-управленческих факторов на эффективность организации пассажирских перевозок, на правильный выбор подвижного состава, который должен выбираться с учётом конструктивных особенностей, его соответствия использованию всеми слоями населения (категориями пассажиров), интенсивности движения, манёвренности, соответствию дорожным условиям и др. Сделаны выводы по обоснованию объёма пассажирских перевозок, определению средней дальности поездки пассажиров, расчёту технических, эксплуатационных и качественных показателей функционирования общественного транспорта, распределению пассажиров по маршрутам.

В рамках развития новых подходов к решению транспортных проблем г. Худжанда наиболее значимым является анализ структуры пассажиропотока, что влияет на показатели эффективности пассажирских перевозок.

Реализация полномасштабного обследования пассажиропотоков даст возможность разработать надлежащие графики движения пассажиропотока на маршрутах, выбрать рациональный тип подвижного состава по вместимости, будет способствовать экономии времени передвижения пассажиров, социализации транспортных тарифов, повышению качества выполнения перевозок.

Ключевые слова: обслуживание, перевозка пассажиров, общественный транспорт, пассажиропоток, нерегулярность пассажиропотоков, маршрут, автобус, качество обслуживания.

Для цитирования: Саломзода Р. С., Бобоев М. М. Анализ пассажиропотоков, обслуживаемых автобусными маршрутами Худжанда // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 3 (94). С. 67–73. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-7>.

**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

Транспорт является одной из важнейших отраслей народного хозяйства. В современных условиях невозможно представить экономическое развитие без этой отрасли, которая тесно связана с другими.

Различные виды пассажирского транспорта, в том числе автобусы, троллейбусы, трамваи и микроавтобусы и т. д., регулярно используются в городских, пригородных, междугородних и международных транспортных сетях. Повышение качества услуг, предоставляемых автомобильным транспортом, и удовлетворение спроса на транспортные услуги в целом является одной из основных задач развития городского общественного транспорта.

Главными целями в организации городской транспортной системы являются прежде всего минимизация транспортных расходов, экономия времени, повышение безопасности и комфортности при перевозке пассажиров.

Реальная ситуация в некоторых городах Таджикистана, в том числе и в Худжанде [1–3], где пассажиры перевозятся в основном на автобусах и микроавтобусах, показывает, что уровень и качество услуг общественного транспорта всё ещё являются неудовлетворительными и не отвечают потребностям городского населения.

Это несоответствие, прежде всего, связано с отсутствием надлежащего и точного графика движения общественного транспорта, что приводит к длительному ожиданию пассажиров на остановках; несоблюдению интервалов движения; незаконной парковке транспортных средств в запрещённых местах; переполненности транспортных средств; несоблюдению нормированного времени остановки на промежуточных и конечных остановках; нарушению правил безопасности движения. Всё это является очень серьёзными проблемами для городского транспорта и требует немедленных решений.

Эффективное использование рабочего времени, соблюдение графиков и режимов движения, дистанции движения, скорости перевозки пассажиров, оптимизация затрат при обеспечении минимального времени перевозки, правильное использование автобусов, высокое качество обслуживания, регулярность движения автотранспорта на маршруте выполнимы при правильной организации и использовании пассажирского общественного транспорта.

Следует отметить, что одним из лучших методов для изучения и дальнейшего решения этих проблем является исследование пассажиропотоков, т. е. «текучесть» пассажиров, движение пассажиропотоков в определённые дни и время, в определённом направлении по городским маршрутам. Анализ этих потоков может осуществляться в зависимости от характеристик маршрута, времени дня, дней недели, в течение месяца, сезона, по отдельному маршруту или по всем маршрутам, для одного вида транспорта или для всех видов городского пассажирского транспорта.

Обзор источников (например, [4–9]) показал, что для анализа спроса на транспортные услуги, получения сведений о законах формирования спроса на перевозку пассажиров, а также при углублённом исследовании качества транспортных услуг используется информация о степени удовлетворённости спроса в существующей транспортной системе. Исследование пассажиропотока может проводиться в полном объёме для различных видов транспорта или в индивидуальном порядке для отдельно взятого вида транспорта. Обычно в таких исследованиях используются отчётно-статистический метод, анкетный метод, натурные обследования.

Анализ пассажиропотоков позволяет рассмотреть функционирование общественного транспорта с учётом разработки и принятия норм, то есть с учётом показателей транспортной работы, в том числе эффективности перевозок, включая среднее расстояние движения, скорость движения (скорость транспортного средства), коэффициент наполнения транспортного средства, коэффициент разности пассажиропотоков, коэффициент регулярности движения на маршрутах и т. д. Все эти показатели должны быть скорректированы с учётом текущей ситуации. В конечном счёте пересмотр и утверждение вышеупомянутых показателей позволит разработать надлежащий график движения на маршрутах, выбрать соответствующую вместимость транспортных средств, снизить транспортные расходы, обеспечить комфорт пассажиров, повысить уровень обслуживания и предложить приемлемые тарифы на обслуживание. Впоследствии это повысит качество обслуживания и эффективность эксплуатации транспортных средств.

Успешное решение вопросов рациональной организации перевозок пассажиров

и эффективного использования подвижного состава невозможно без изучения пассажиропотоков транспортной сети на систематической основе. При этом необходимо учитывать целый ряд факторов и параметров.

Так, важное значение имеет такой параметр, как «мощность пассажирского потока», под которым понимают количество пассажиров, проезжающих в определённое время через конкретное сечение маршрута или всей транспортной сети населённого пункта в одном направлении [6]. При этом необходимо дифференцировать пассажиропотоки: постоянные или переменные; односторонние или двусторонние; регулярные или нерегулярные; периодические или прерывистые. В организации и управлении пассажирскими перевозками немаловажную роль играет учёт характера непостоянности пассажиропотоков на маршрутах или в определённом районе города, который необходимо учитывать при организации транспортной работы. В силу этого для обеспечения высокого уровня работы общественного транспорта, качества обслуживания населения, а также организации оптимальных маршрутов необходимо на основе исследования пассажиропотоков определить направления движения и количество пассажиров, а также неравномерности пассажиропотоков на маршрутах.

Распределение населения по социальным категориям, таким как работники, служащие, ученики школ и студенты среднего и высшего профессионального образования также входит в число основных факторов, определяющих величину подвижности населения.

Одним из основных факторов улучшения качества перевозок пассажиров является правильный выбор транспортных средств. Эксплуатируемые транспортные средства общественного пользования должны анализироваться с учётом показателей устройства конструкции, мест для сидения, интенсивности движения, управления и других, их задействования в городском, пригородном, междугородном и международном сообщении.

Анализ пассажиропотоков позволяет выявить транспортные потребности населения и организовать работу общественного транспорта с учётом новых нормативов, то есть показателей работы транспорта, в том числе средней дальности поездки пассажиров, скорости движения (эксплуатационная скорость),

коэффициента наполняемости транспортных средств, коэффициента неравенства пассажиропотоков, коэффициента регулярности на маршруте и т.д., которые будут соответствовать реальной ситуации.

Исследование можно проводить в полном объёме (для всех видов пассажирского транспорта); только в «индивидуальном» объёме (для отдельных видов (автобусы, троллейбусы, трамваи)); выборочно – на отдельных линиях движения или группах линий движения.

Наиболее распространёнными методами изучения пассажиропотоков являются: отчётно-статистический метод; анкетный метод; натурные обследования. Натурные обследования, в свою очередь, могут быть представлены талонным, табличным, визуальным, силуэтным и опросным методами.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Чтобы повысить уровень и качество обслуживания пассажиров автомобильным транспортом в Худжанде и повысить рентабельность транспортных предприятий города, необходимо изучить и проанализировать пассажиропотоки.

Цель представленного исследования – представить результаты первичного анализа пассажиропотоков в городе Худжанде, в первую очередь, обслуживаемых автомобильным транспортом общего пользования.

Представленные результаты позволяют обосновать целесообразность дальнейшего систематического и детализированного исследования пассажиропотоков.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Худжанд – один из древнейших городов Центральной Азии. Это второй по величине город в Республике Таджикистан и один из основных транспортных, политических, экономических, культурных и научных центров страны. С точки зрения основных показателей агломерации Худжанд уступает только Душанбе (население Душанбе – 916 200 чел., Худжанда – 181 600 чел.). Площадь агломерации Худжанда составляет 3400 м², а плотность населения составляет 269 человек/км.

В целях повышения качества обслуживания и использования парка на автобусных маршрутах в Худжанде анализ пассажиропотоков проводился с использованием естественно-расчётного (табличного) метода.





Таблица 1

Результаты обследования пассажиропотока на маршруте автобуса № 1 –
«Микрорайон № 3 г. Худжанд–Б. Гафуровский район»
(по состоянию на 11.06.2019 года)

| Поток пассажиров за один день, чел. | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------|
| № | Название остановок | Численность садившихся и высадившихся пассажиров за сутки, чел. | |
| | | Число садившихся | Число высадившихся |
| 1 | Махаллаи 3 | 359 | 298 |
| 2 | Колечи техники | 144 | 123 |
| 3 | Даромади Сартукай | 269 | 256 |
| 4 | Магозаи Исматулло | 189 | 225 |
| 5 | Мактаби Болаёкат | 184 | 226 |
| 6 | Махаллаи 8 | 477 | 415 |
| 7 | Махаллаи 12 | 366 | 413 |
| 8 | Муассисаи Сорбон | 637 | 540 |
| 9 | Пажарний | 260 | 312 |
| 10 | Областной ГАИ | 389 | 449 |
| 11 | ТГУ | 345 | 432 |
| 12 | ХГУ | 375 | 598 |
| 13 | Матбуот | 374 | 497 |
| 14 | Рахими | 468 | 314 |
| 15 | Варзишгохи 20-Солагин Истиклолият | 283 | 263 |
| 16 | Универмаг | 990 | 907 |
| 17 | Стадион | 432 | 428 |
| 18 | Зафар | 364 | 106 |
| 19 | Панчшанбе | 1570 | 1943 |
| 20 | Гулбахор | 251 | 289 |
| 21 | Зарбоф | 509 | 416 |
| 22 | Бофанда | 362 | 328 |
| 23 | Корхонаи Ромсар | 128 | 150 |
| 24 | Арбоб | 203 | 231 |
| 25 | Маттаиб | 209 | 240 |
| 26 | Авгостанция | 429 | 422 |
| 27 | ГАИ Хадженски | 169 | 205 |
| 28 | Атуш бозор | 499 | 110 |
| 29 | Баракат | 580 | 256 |
| 30 | Саховат | 68 | 467 |
| 31 | Сомон бозор | 103 | 519 |
| 32 | Гардиши Бустон | 169 | 234 |
| 33 | СИМУ 25 | 120 | 138 |
| 34 | ЧДММ «Сайёр» | 221 | 228 |
| 35 | Касри Фарханг | 117 | 150 |
| 36 | Шуъбаи шиносномадихии шахраки Б. Гафуров | 178 | 155 |
| 37 | Вокзал | 992 | 499 |
| Всего | | 13782 | 13782 |
| Льготные пассажиры (дети школьного возраста и другие категории пассажиров со скидкой до 50 %) | | 431 | 431 |
| Льготные пассажиры (полностью освобождённые от оплаты проезда) | | 133 | 133 |

Государственное коммунальное предприятие (ГКП) «Мусофиркашони дар шаҳри Хучанд» использует в своём парке автобусы. В частности, на маршруте № 1 работает 18 автобусов ЛиАЗ-529265 вместимостью 114 пассажиров каждый. Потоки пассажиров на автобусном маршруте № 1, который охватывает территорию от микрорайона № 3 г. Худжанда до ст. Б. Гафуровского района (табл. 1), изучался совместно с ГКП и с привлечением студентов.

Эта таблица показывает объём пассажиропотока в течение дня на каждой из остановок. Самое большое количество входящих и выходящих пассажиров наблюдается на остановке возле базара «Панчшанбе»: 11,4 % пассажиров садятся и 14 % высаживаются на остановке. Самые оживлённые автобусные остановки на маршруте – это остановки возле универсама, торгового центра «Баракат», базара «Атуш», базара «Саховат» и базара «Сомон», которые расположены на расстоянии от 100 до 250 метров друг от друга. Другими «популярными» остановками являются «Вокзал», остановки в центре района Б. Гафурова, рядом с центральным рынком «Фаровон». Исследования показывают, что объёмы посадки и высадки пассажиров всегда увеличиваются на остановках возле торговых центров, рядом с предприятиями, оздоровительными центрами, университетами, учебными заведениями и местами отдыха.

Аналогичное обследование пассажиропотоков было проведено ещё на трёх автобусных маршрутах города.

На маршруте № 4 (микрорайона № 34 города Худжанда–город Гулистон–санаторий «Бахористон») анализ показал, что на маршруте работают 10 автобусов ЛиАЗ-529265, вмещающих 114 пассажиров (пропускная способность 6855 пассажиров в сутки).

Также было проведено исследование на маршруте № 5 квартал «Ёва» («Галамайдон»)–Бабаджан Гафуровский район (Седьмой посёлок). На этом маршруте работают 18 автобусов марки ЛиАЗ-429260 вместимостью 85 человек, ежедневная перевозка составила 7986 пассажиров.

Проанализировав эти цифры, авторы пришли к выводу, что неравномерность количества пассажиров на этих маршрутах зависит от режима работы горожан и пунк-

тов отправления пассажиров. С 6-00 до 8-00 часов утра количество пассажиров превышало норму, в результате чего наблюдалась нехватка автобусов. Также в это время наблюдалась нерегулярность движения автобусов.

Было зафиксировано, что со стороны транспортной компании на этих маршрутах сбор за проезд не осуществлялся должным образом. В результате полученных данных и расчётов было выявлено, что сумма, собираемая кондукторами, на 15–20 % меньше положенной.

Анализ работы маршрута № 1 был проведён с учётом объёма перевезённых пассажиров, сбора платы за проезд, количества льготных пассажиров на маршруте, тарифа на перевозки, дохода автотранспортных предприятий от оказания услуг по перевозке пассажиров (табл. 2).

Необходимо учитывать специфику городских маршрутов Худжанда. Некоторые остановочные пункты находятся вне города (на территории близлежащих пригородных районов). Но анализ пассажиропотока показывает, что 70–80 % пассажиров, использующих этот маршрут, приходится на жителей города Худжанда. В табл. 2 анализируется количество привилегированных пассажиров, в том числе совершенно бесплатных и освобождённых от оплаты на 50 %. Это учитывается в расчётах.

Так, в частности, полностью освобождённые от оплаты за проезд пассажиры составили всего 0,96 % от всех пассажиров, а освобождённые на 50 % (к этой категории согласно «Инструкции порядка регистрации и учёта льготных пассажиров в общественном транспорте Республики Таджикистан»¹ относятся дети школьного возраста до 12 лет) – 3,1 % от всех пассажиров.

Как показано в табл. 2, оплата за проезд, согласно наблюдениям в течение одного дня, составила 16 266 сомони, однако по отчётам ГКП «Мусофиркашони дар шаҳри Хучанд», поступления от выручки за проезд составили 14 117 сомони. Разница от выручки составила – 2149 сомони, т.е. в кассу предприятия было сдано 88,8 % от собранной суммы.

¹ «Инструкция о порядке регистрации и учёта льготных пассажиров в общественном транспорте Республики Таджикистан», утверждённая Распоряжением Министра транспорта Республики Таджикистан за № 113 от 16.08.2011.



**Анализ обследования пассажиропотока на маршруте № 1 – «Микрорайон № 3
г. Худжанда-Б. Гафуровский район» по состоянию на 11.06.2019 года**

Таблица 2

| № | Госномер автобусов | Численность пассажиров за день, чел. | | | Льготные пассажиры ¹ | Льготные пассажиры (полностью освобождённые от уплаты) | Всего | Прямое направление | Обратное направление | С учётом суммы платы за проезд, сомони | | | Уплаченная сумма, сомони | Разница дохода, сомони | |
|---------|--------------------|--------------------------------------|------|------|---------------------------------|--------------------------------------------------------|-------|--------------------|----------------------|----------------------------------------|--------|------|--------------------------|------------------------|--------|
| | | Всего | 1 | 1,5 | | | | | | 2 | 1 | 1,5 | | | 2 |
| 1 | 7926 | 859 | 584 | 174 | 0 | 0 | 1047 | 488,5 | 558,5 | 584 | 261 | 202 | 0 | 830 | -217 |
| 2 | 7931 | 727 | 495 | 131 | 25 | 7 | 842 | 360 | 482 | 495 | 196,5 | 138 | 12,5 | 702 | -140 |
| 3 | 7932 | 823 | 485 | 207 | 32 | 12 | 985,5 | 515 | 470,5 | 485 | 310,5 | 174 | 16 | 805 | -180,5 |
| 4 | 7942 | 761 | 508 | 128 | 24 | 10 | 894 | 409,5 | 484,5 | 508 | 192 | 182 | 12 | 778 | -116 |
| 5 | 7958 | 935 | 582 | 212 | 12 | 5 | 1154 | 554,5 | 599,5 | 582 | 318 | 248 | 6 | 781 | -373 |
| 6 | 7959 | 964 | 555 | 194 | 54 | 17 | 1161 | 579 | 582 | 555 | 291 | 288 | 27 | 840 | -321 |
| 7 | 7964 | 307 | 209 | 59 | 34 | 0 | 368 | 214 | 154 | 209 | 88,5 | 68 | 2,5 | 808 | 440 |
| 8 | 7977 | 767 | 504 | 136 | 110 | 4 | 934,5 | 396,5 | 538 | 504 | 204 | 220 | 6,5 | 767 | -167,5 |
| 9 | 7981 | 816 | 536 | 189 | 23 | 6 | 955 | 430,5 | 524,5 | 536 | 283,5 | 124 | 11,5 | 743 | -212 |
| 10 | 7983 | 840 | 523 | 166 | 56 | 17 | 956 | 506 | 450 | 523 | 249 | 156 | 28 | 776 | -180 |
| 11 | 7986 | 818 | 581 | 155 | 81 | 0 | 976 | 386 | 590 | 581 | 232,5 | 162 | 0,5 | 835 | -141 |
| 12 | 7990 | 730 | 440 | 152 | 92 | 11 | 869,5 | 479 | 390,5 | 440 | 228 | 184 | 17,5 | 805 | -64,5 |
| 13 | 7991 | 800 | 516 | 163 | 108 | 3 | 981,5 | 489 | 492,5 | 516 | 244,5 | 216 | 5 | 840 | -141,5 |
| 14 | 7992 | 782 | 479 | 183 | 54 | 15 | 887 | 384 | 503 | 479 | 274,5 | 108 | 25,5 | 850 | -37 |
| 15 | 7994 | 767 | 473 | 157 | 78 | 13 | 887,5 | 415 | 472,5 | 473 | 235,5 | 156 | 23 | 840 | -47,5 |
| 16 | 7995 | 410 | 284 | 75 | 28 | 5 | 461,5 | 199 | 262,5 | 284 | 112,5 | 56 | 9 | 500 | 38,5 |
| 17 | 7996 | 945 | 747 | 148 | 16 | 8 | 1014 | 433,5 | 580,5 | 747 | 222 | 32 | 13 | 800 | -214 |
| 18 | 7998 | 731 | 500 | 140 | 91 | 0 | 892 | 513 | 379 | 500 | 210 | 182 | 0 | 817 | -75 |
| Хавлати | | 13782 | 9001 | 2769 | 1448 | 431 | 16266 | 7752 | 8514 | 9001 | 4153,5 | 2896 | 215,5 | 14117 | -2149 |

¹ Льготные пассажиры (дети школьного возраста и другие категории пассажиров со скидкой до 50 %).



72

Аналогичные исследования были проведены и на автобусных маршрутах № 4 и № 5 города Худжанда, где наблюдалась похожая ситуация.

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

Результаты данного обследования пассажиропотоков, несмотря на его разовый характер, уже позволили выдвинуть ряд гипотез. Так, можно полагать, что основным фактором, определяющим величину подвижности населения, является распределение населения по социальным категориям: работники, служащие, студенты, школьники, пенсионеры. Подтверждена актуальность разработки технологии сбережения и получения доходов с использованием современных технологий, например, через внедрение электронных билетов.

Главный вывод состоит в том, что проведённое обследование подтвердило основную исследовательскую гипотезу о целесообразности проведения системных обследований пассажиропотоков на регулярной основе в целях сбора и анализа информации для выработки предложений по оптимальным схемам организации работы городского общественного транспорта.

Дальнейшие исследования пассажиропотоков призваны решить следующие вопросы:

- обоснование объёма пассажироперевозок;
- определение средней дистанции, пройденной пешеходом;
- расчёт технических, эксплуатационных и качественных показателей работы транспорта;
- распределение пассажиров по маршрутам;
- система маршрутов и её оптимизация;
- разделение автотранспорта по маршрутам и закрепление маршрутов за автотранспортными предприятиями;

- нормирование и регулирование скорости движения транспортных средств;
- правильная организация графиков работы и отдыха водителей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Транспорт и связь Республики Таджикистан, статистический сборник – Душанбе: Агентство по статистике при Президенте Республики Таджикистан, 2019.
2. Бобиев Р. С., Гафуров Ф. Дж., Наджмуудинов Ф. Н. Пассажирыские перевозки. – Душанбе, 2017. – 92 с.
3. Фаттидинов Б. Р., Бобиев Р. С., Бобоев М. М. Анализ современных обстоятельств обслуживания пассажиров автомобильным транспортом в городе Худжанде, проблемы и перспектива развития // Вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2019. – № 2 (46). – С. 99–107. [Электронный ресурс]: [http://vp-es.tu.tj/userfiles/source_1580893662_Vestnik_%E2%84%962_\(46\)_S.1._-2019_g._v_pechat_.pdf](http://vp-es.tu.tj/userfiles/source_1580893662_Vestnik_%E2%84%962_(46)_S.1._-2019_g._v_pechat_.pdf). Доступ 26.03.2021.
4. Рахматуллина А. Р. Методические положения повышения качества услуг городского общественного транспорта / Дис... канд. экон. наук. – Самара, СГЭУ, 2014. – 146 с. [Электронный ресурс]: <http://www.dslib.net/economika-xoziajstva/metodicheskie-polozhenija-povyshenija-kachestva-uslug-gorodskogo-obwestvennogo.html>. Доступ 26.03.2021.
5. Кулев А. В. Оптимизация маршрутов пассажирского транспорта в городе / Дис... канд. техн. наук. – Орёл: Гос. ун-т – учебно-научно-произв. комплекс, 2015. – 142 с. [Электронный ресурс]: <http://www.dslib.net/remont-transporta/optimizacija-marshrutov-passazhirskogo-transporta-v-gorode.html>. Доступ 26.03.2021.
6. Бойко Г. В. Методика оптимизации структуры транспорта для обслуживания городских пассажирских перевозок / Дис... канд. техн. наук. – Волгоград, ВолГГУ, 2006. – 157 с. [Электронный ресурс]: https://www.studmed.ru/boyko-gv-metodika-optimizacii-struktury-transporta-dlya-obslužhivaniya-gorodskih-passazhirskih-perevozok_b399abfbeca.html. Доступ 26.03.2021.
7. Китов А. Г., Пермовский А. А. Организация работы автобусов на городских и пригородных маршрутах (дипломное проектирование): Учебно-методическое пособие. – Н. Новгород: ВГИПУ, 2009. – 110 с. [Электронный ресурс]: <https://docplayer.com/27471386-Organizacija-raboty-avtobusov-na-gorodskih-i-prigorodnyh-marshrutah-diplomnoe-proektirovanie.html>. Доступ 26.03.2021.
8. Бобоев М. М. Анализ пассажирских перевозок в Согдийской области // Научно-методический журнал Academy. – 2018. – № 1 (28). – 103 с. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32314336>. Доступ 26.03.2021.
9. Гудков В. А., Миротин Л. Б., Вельможин А. В., Ширяев С. А. Пассажирыские автомобильные перевозки. – М.: Горячая линия Телеком, 2004. – 448 с. [Электронный ресурс]: https://www.studmed.ru/gudkov-va-mirotin-lb-passazhirskie-avtomobilnye-perevozki_89a643fe0e3.html. Доступ 26.03.2021. ●

Информация об авторах:

Саломзода Рахмиддин Салом – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой организации перевозок и управления на транспорте Таджикского технического университета имени академика М. С. Осими, Душанбе, Республика Таджикистан, salomzoda1975@gmail.com.

Бобоев Музаффар Мухиддинович – ассистент кафедры автомобилей и управления на транспорте Политехнического института Таджикского технического университета имени академика М. С. Осими, Худжанд, Республика Таджикистан, muzaffar-bm@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 17.12.2020, одобрена после рецензирования 15.04.2021, принята к публикации 25.06.2021.





Задачи транспортного типа по критерию времени с учётом характеристик применяемых транспортных средств



Николай НЕЧИТАЙЛО

Николай Маркович Нечитайло

Российский университет транспорта, Москва, Россия.

✉ nechitaylo2007@yandex.ru.

АННОТАЦИЯ

Постановка классических минимаксных задач транспортного типа предполагает поиск оптимального плана перевозок с учётом только времён доставки ресурсов. Неизбежно возникающие при этом дополнительные затраты на обработку ресурсов в исходных пунктах и в пунктах назначения во внимание, как правило, не принимаются. Такой подход вполне оправдан при несоизмеримости времён доставки ресурсов по имеющимся маршрутам и времён предварительной/последующей обработки ресурсов. В то же время в ряде практических задач временные затраты на погрузку/разгрузку (например, при организации погрузки фасованных минеральных удобрений со складов порта на корабли) могут иметь существенное значение. В подобных ситуациях при поиске оптимального плана перевозок необходимо учитывать не только время движения используемых транспортных средств по установленным маршрутам, но и затраты на погрузочно-разгрузочные операции, учитывая при этом и количество имеющихся транспортных средств и их характеристики, например, грузоподъёмность.

В связи с этим целью исследования является не только разработка метода расчёта оптимального

плана перевозок, но и метода распределения транспортных средств с учётом их количества и характеристик.

При этом ещё одной не менее важной целью исследования является обоснование применения метода последовательного сокращения невязок с учётом вида целевой функции, учитывающей не только основные параметры классических минимаксных задач транспортного типа, но и количественные характеристики транспортных средств, привлекаемых к транспортной операции. Принципиально важно, что применение метода последовательного сокращения невязок обуславливает полиномиальную вычислительную сложность алгоритма, что делает возможным его применение при оперативном решении задач практической размерности.

Для решения задачи распределения имеющихся транспортных средств по исходным пунктам с учётом грузоподъёмности транспортных средств предложено использовать метод динамического программирования. Рассмотрен иллюстративный пример распределения средств доставки, адаптированный для применения в MS Excel.

Ключевые слова: транспортная задача, критерий минимума времени, затраты на обработку, грузоподъёмность.

Для цитирования: Нечитайло Н. М. Задачи транспортного типа по критерию времени с учётом характеристик применяемых транспортных средств // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 3 (94). С. 74–80. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-8>.

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 минимаксных задачах транспортного типа [1–3] не учитывается время на погрузочно-разгрузочные операции. В статье предлагается учитывать потери времени не только на доставку ресурсов, но и при погрузке/разгрузке ресурсов в исходных пунктах и в пунктах назначения. При этом будем считать, что затраты времени на обработку ресурсов имеют линейную зависимость от количества ресурсов, направляемых по каждому из имеющихся маршрутов. Также следует учитывать как наличие привлекаемых транспортных средств, так и их характеристики, например, грузоподъемность. Такая постановка задачи имеет сходство с классической линейной транспортной задачей [4], с задачами с минимаксной целевой функцией [5; 6] и с задачами с фиксированными доплатами [7–9], решение которых при линеаризации целевой функции приводит к существенным погрешностям, а поиск точного решения комбинаторными методами определяет неприемлемую (экспоненциальную) вычислительную эффективность. Минимаксный же характер показателя качества управления рассматриваемой задачи делает возможным решение общей задачи как совокупности подзадач о максимальном транспортном потоке [8; 10; 11]. При этом поскольку центральное место в предлагаемом алгоритме занимает метод последовательного сокращения невязок с полиномиальной вычислительной сложностью [3], вычислительная сложность предлагаемого алгоритма будет иметь ту же вычислительную сложность [8; 12; 13]. Отсюда следует вывод о применимости предлагаемого алгоритма в задачах с достаточно большим количеством переменных. Следует отметить, что подход, основанный на последовательном уменьшении размерности задачи [14], приводит, как правило, к решениям, далёким от оптимальных. А решавшиеся ранее задачи, связанные с обработкой ресурсов в пунктах назначения [15; 16], всё же не учитывали ни количество имеющихся транспортных средств, ни необходимость их оптимального распределения по используемым маршрутам. В качестве ещё одного аргумента в пользу актуальности рассматриваемой в статье задачи следует указать, что изучение моделей транспортного типа, в том числе и временных затрат на погрузочно-разгрузочные операции, и, как частный слу-

чай, временных затрат в пунктах промежуточной обработки, по-прежнему привлекает пристальное внимание исследователей [17; 18].

Целью исследования является разработка метода расчёта оптимального плана перевозок и метода распределения транспортных средств с учётом их количества и характеристик.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Пусть имеется m исходных пунктов с ресурсами a_i ($i = 1 \dots m$) и n пунктов назначения с потребностями b_j ($j = 1 \dots n$). Условием допустимости плана перевозок $\|x_{ij}\|$ ($i = 1 \dots m, j = 1 \dots n$) является выполнение обычных для линейной транспортной задачи ограничений:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^n x_{ij} &\leq a_i, \quad i = 1 \dots m; \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} &\leq b_j, \quad j = 1 \dots n; \\ x_{ij} &\geq 0, \quad i = 1 \dots m, j = 1 \dots n \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где a_i – объём ресурса в A_i ;

b_j – потребности B_j ;

x_{ij} – количество единиц ресурса на маршруте $A_i \rightarrow B_j$.

Решение будет оптимальным при достижении функцией $F(x_{ij})$ минимума:

$$F(x_{ij}) = \max f(x_{ij}), \quad i = 1 \dots m, j = 1 \dots n, \quad (2)$$

где:

$$f(x_{ij}) = \begin{cases} t_{ij} + (t_i + t''_j)x_{ij}, & \text{если } x_{ij} > 0, \\ 0, & \text{если } x_{ij} = 0; \end{cases} \quad (3)$$

t_{ij} – время движения из A_i в B_j ;

t_i – потери на погрузку (обработку) единицы ресурса в A_i ;

t''_j – потери на разгрузку (обработку) единицы ресурса в B_j .

В качестве предварительного шага нужно вычислить нижнюю границу целевой функции. Затем, используя найденное значение нижней границы F_n , вычислить d_{ij} ($i = 1 \dots m, j = 1 \dots n$) и попытаться разместить отличные от нуля x_{ij} только по «разрешённым» маршрутам. Для решения предлагается использование метода Эгервари [7; 8], так как в этом случае будет отсутствовать требование сбалансированности ресурсов и потребностей. Кроме того, венгерский метод не критичен к появлению вырожденности, от которой можно впоследствии избавиться на



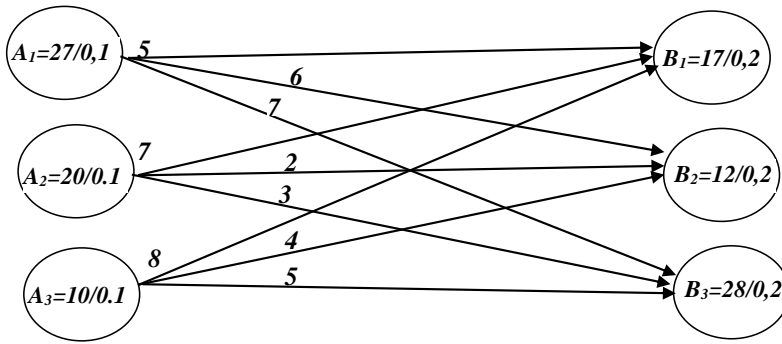


Рис. 1. Сеть иллюстративного примера [3].

Таблица 1
Пропускные способности маршрутов при $F_n = 10,1$ [3]

| | b_1 | b_2 | b_3 | |
|-------|-------|-------|-------|--|
| a_1 | 5 | 6 | 7 | |
| | 17 | 12 | 9 | |
| a_2 | 7 | 2 | 3 | |
| | 10 | 12 | 10 | |
| a_3 | 8 | 4 | 5 | |
| | 7 | 10 | 10 | |

этапе анализа полученного оптимального решения.

В случае успешного размещения ненулевых перевозок по маршрутам, в которых $F \leq F_n$ (либо остаток ресурсов в исходных пунктах равен нулю, либо удовлетворены все потребности), оптимальное решение найдено. Если это не так, то необходимо минимально нарастить пропускные способности маршрутов за счёт увеличения (сколь угодно малого) значения нижней границы. После выполнения указанной процедуры следует пересчёт пропускных способностей и повторение процедуры наращивания потока в сети. В случае безуспешного размещения ненулевых перевозок по доступным маршрутам следует повторно нарастить пропускные способности маршрутов и пересчитать пропускные способности и так далее. Для иллюстрации алгоритма расчёта F_n воспользуемся иллюстративным примером (рис. 1 и табл. 2). Над рёбрами графа проставлены значения времён доставки ресурсов между пунктами. Этот же смысл имеют данные в правых верхних углах ячеек табл. 1. Количество имеющихся ресурсов в пунктах A_i и величина потребностей пунктов B_j – цифры в центрах окружностей. Времена обработки единицы ресурса указаны как знаменатели.

Исходя из представленных выше ограничений (2, 3), следует расчёт F_n :

$$F_n = \max_i \{ \min_j [t_{ij} + \min_j(a_i, b_j)(t'_i + t''_j)] \} \quad (4)$$

В соответствии с (4) $F_n = t_{11} + b_1(t'_1 + t''_1) = 10,1$.

Исходя из полученного значения, рассчитаем пропускные способности и проставим их в нижней части ячеек табл. 1.

Чтобы сократить заведомо бесперспективные шаги алгоритма, имеет смысл уточнить F_n . Сокращение числа шагов может быть достигнуто путём вычисления пропускных способностей по правилу:

$$d_{ij} = \begin{cases} \min_{i,j} [a_i, b_j, (F_n - t_{ij}) \text{div}(t'_i + t''_j)], & \text{если } t_{ij} \leq F_n; \\ 0, & \text{если } t_{ij} > F_n, \end{cases} \quad (5)$$

где d_{ij} – операция деления с отбрасыванием остатка.

Возможность получения допустимого решения (удовлетворяющего всем ограничениям) обеспечивается справедливостью условий:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^n d_{ij} &\geq a_i, \quad i = 1 \dots m; \\ \sum_{i=1}^m d_{ij} &\geq b_j, \quad j = 1 \dots n. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Если не будет выполняться любое из неравенств (6), то следует вывод либо о невозможности вывоза ресурсов из какого-то исходного пункта, либо о невозможности доставки необходимого количества ресурсов до одного или нескольких пунктов назначения. В такой ситуации следует процедура наращивания нижней границы функции. Опираясь на уточнённое значение F_n , вновь проводится расчёт пропускных способностей маршрутов в соответствии с (5) и снова проверяется справедливость условий (6).

Если установленные d_{ij} делают возможным вывоз ресурсов из всех исходных пунк-

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
|----|---|---|----|----|----|---|---|---|---|---|
| 1 | | | 17 | 10 | | | | 0 | 0 | 0 |
| 2 | | | | 2 | 18 | | | 0 | 0 | 0 |
| 3 | | | | | 10 | | | 0 | 0 | 0 |
| 4 | | | | | | | | | | |
| 5 | | | 5 | 6 | 7 | | | | | |
| 6 | | | 7 | 2 | 3 | | | | | |
| 7 | | | 8 | 4 | 5 | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | | | | |
| 21 | | | | | | | | | | |
| 22 | | | | | | | | | | |
| 23 | | | | | | | | | | |
| 24 | | | | | | | | | | |
| 25 | | | | | | | | | | |
| 26 | | | | | | | | | | |

Рис. 2. Оптимальный план без учёта количества и характеристик имеющихся транспортных средств (выполнено автором).

тов и доставку во все конечные пункты, то осуществляется переход к следующему этапу решения – составлению исходного плана, в котором величины перевозок x_{ij} определяются формулой:

$$x_{ij} = \min_j(a_i, b_j, d_j), \quad (7)$$

где a_i, b_j – ресурсы и потребности соответствующих исходных пунктов и пунктов назначения с учётом уже назначенных перевозок.

План перевозок, полученный в соответствии с (7), представлен в табл. 2, где в верхней части ячеек содержатся времена движения по соответствующим маршрутам, а ниже – собственно значения x_{ij} .

Таблица 2
Исходный план примера [3]

| | b_1 | b_2 | b_3 |
|-------|---------|---------|---------|
| a_1 | 5 17 | 6 10 | 7 18 |
| a_2 | 7 | 2 | 3 |
| a_3 | 8 | 4 | 5 10 |

Полученный план является решением задачи. При ложности этого утверждения необходимо перейти к процедуре наращива-



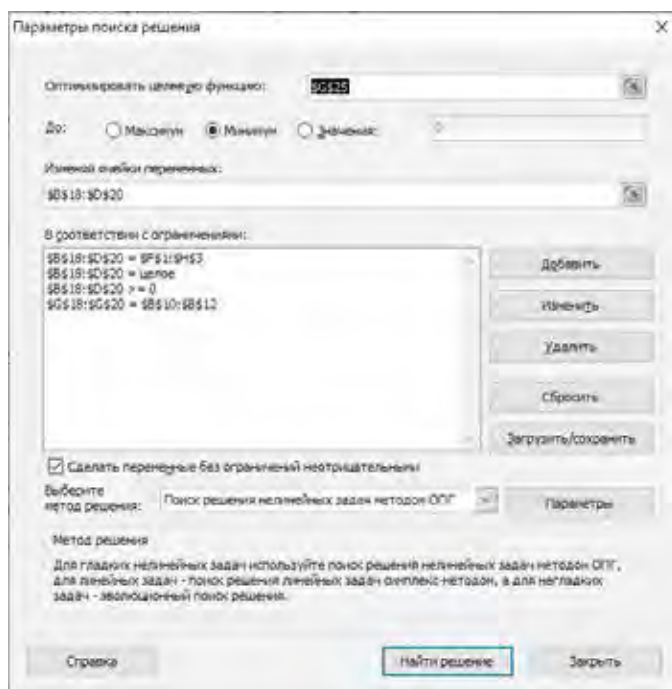


Рис. 3. Заполненное диалоговое окно (выполнено автором).

ния транспортного потока, наращиванию при необходимости F_n и т.д. [3; 7; 8].

План транспортировки в табл. 2 ($F(x_{ij}) = 10,1$) является оптимальным в предположении, что ресурсы, назначенные к перевозке по любому из рассматриваемых маршрутов, перевозятся за один рейс, то есть, что и количество транспортных средств в каждом исходном пункте, и грузоподъемность этих транспортных средств не ниже существующих потребностей. В связи с этим определённый интерес представляет задача реализации ранее разработанного оптимального плана с учётом количества имеющихся в исходных пунктах транспортных средств и их грузоподъёмности.

В этом случае количество рейсов по каждому маршруту может быть рассчитано по формуле:

$$l_{ij} = (x_{ij} + q_i - 1) \operatorname{div} q_j, \quad (8)$$

где q_i – грузоподъёмность i -го транспортного средства.

При этом время каждого маршрута рассчитывается по формуле:

$$F'(w_i) = \begin{cases} (l_{ij}t_{ij} + w_i - 1) / w_i + x_{ij}(t_i + t''_j), & \text{если } l_{ij} \neq 0; \\ 0, & \text{если } l_{ij} = 0, \end{cases} \quad (9)$$

при ограничении $\sum_{i=1}^m w_i \leq W$,

где w_i – количество транспортных средств в i -м исходном пункте;

W – общее количество транспортных средств.

Задача заключается в определении значений переменных w_i , при которых:

$$F(w_i) = \max_i F'(w_i) \rightarrow \min(i = 1 \dots m). \quad (10)$$

Ввиду характера целевой функции (10), вполне очевидно, что решение может быть найдено комбинаторными методами, например, методом динамического программирования. В то же время следует обратить внимание, что в задачах практической размерности вполне применимы процедуры, заложенные в MS Excel.

В настоящее время при решении оптимизационных задач могут применяться либо программы на языках программирования высокого уровня, либо распространённые математические пакеты (например, MathCad), либо программы общего назначения (например, электронные таблицы).

Основной недостаток программ первого типа – разработчики подобных программ являются лицами, ориентированными, прежде всего, на разработку эффективных алгоритмов сформулированных задач [3]. Такие программы имеют высокую вычислительную эффективность. При их использова-



Рис. 4. Результат выполнения команды «Поиск Решения» (выполнено автором).

нии математическая формулировка задачи не требуется, так как уже выполнена в ходе разработки алгоритма. Пользователю лишь требуется ввести исходные данные. При этом пользовательский интерфейс таких программ является не проработанным и понятен только узкому кругу специалистов.

Распространённые математические пакеты потребуют задачу формализовать, что подразумевает определённый уровень мате-

матической подготовки пользователя. Кроме того, решение оптимизационных задач в таких пакетах может привести к решению ряда составляющих подзадач [2; 7; 8].

Программы общего назначения (например, электронные таблицы) обладают продуманным интерфейсом. Широкий спектр действия заложенных в них алгоритмов приводит к серьёзному ухудшению вычислительной эффективности [3].





В этой связи ниже рассмотрено использование MS Excel для решения сформулированной задачи. Более широкий круг оптимизационных задач, решаемых в среде MS Excel (основная задача линейного программирования, задача о ранце, задача о распределении ресурсов и др.), рассмотрен в [2].

На рис. 2 представлен найденный оптимальный план иллюстративного примера без учёта количества и характеристик имеющихся транспортных средств. Для реализации этого плана с учётом имеющихся транспортных средств и их характеристик, например, грузоподъёмности, предлагается в задачах малой размерности применить команду «Поиск Решения» MS Excel.

На рис. 3 представлено заполненное диалоговое окно команды «Поиск Решения», а на рис. 4 – результат её исполнения.

ВЫВОДЫ

Вычислительная сложность предлагаемого алгоритма поиска оптимального плана перевозок не выше полиномиальной, что делает возможным его применение в решении задач практической размерности.

Процедура оптимального распределения имеющихся в распоряжении лица, принимающего решение, транспортных средств формализована для решения задач небольшой размерности с применением MS Excel.

Разработанная процедура оптимального распределения транспортных средств может быть программно реализована одним из комбинаторных методов, например, методом динамического программирования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Васильев Ф. П. Численные методы решения экстремальных задач. – М.: Наука; ГРФМЛ, 1988. – 552 с.
2. Золотухин В. Ф., Мартемьянов С. В., Нечитайло Н. М., Прокопец В. Н. Моделирование систем: Учеб. пособие. – М.: МО РФ, РВИРВ. – 2000. – 164 с.
3. Нечитайло Н. М. Математические модели транспортного типа по критерию времени: Монография. – Ростов н/Д: РГУПС, 2007. – 146 с.
4. Вентцель Е. С. Основы теории боевой эффективности и исследования операций. – М.: Военная академия им. Н. Е. Жуковского, 1961. – 563 с.
5. Дроздов А. А., Миронюк В. П., Цыплаков В. Ю. Повышение эффективности системы двухэтапной транс-

портировки: на примере управления твердыми муниципальными отходами // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 4. [Электронный ресурс]: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1078>. Доступ 17.12.2020.

6. Зуховицкий С. И., Авдеева Л. И. Линейное и выпуклое программирование. – М.: Наука; ГРФМЛ, 1969. – 382 с.

7. Корбут А. А., Финкельштейн Ю. Ю. Дискретное программирование. – М.: Наука; ГРФМЛ, 1969. – 368 с.

8. Триус Е. Б. Задачи математического программирования транспортного типа. – М.: Сов. радио, 1967. – 208 с.

9. Боженик А. В., Герасименко Е. М. Разработка алгоритма нахождения максимального потока минимальной стоимости в нечеткой динамической транспортной сети // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 1. [Электронный ресурс]: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1583>. Доступ 17.12.2020.

10. Гольштейн Е. Г., Юдин Д. Б. Задачи линейного программирования транспортного типа. – М.: Наука; ГРФМЛ, 1969. – 384 с.

11. Dantzig, G. B. Application of the simplex method to a transportation problem. Activity analysis of production and allocation. Ed T. C. Koopmans, Cowles Commission Monograph, 13, Wiley, New York, 1951, 373 p.

12. Hitchcock, F. L. Distribution of a product from several sources to numerous localities. J. Math. Phys., 1941, 230 p.

13. Нечитайло Н. М. Многоиндексные минимаксные модели транспортного типа и потоковые методы их решения // Математическое моделирование. – 2014. – Том 26. – № 2. – С. 95–107. [Электронный ресурс]: http://www.mathnet.ru/php/getFT.phtml?jrnid=mm&paperid=3451&what=fullt&option_lang=rus. Доступ 17.12.2020.

14. Ивницкий В. А., Макаренко А. А. Решение транспортной задачи методом последовательного уменьшения её размерности // Мир транспорта. – 2017. – Т. 15. – № 4. – С. 34–41. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1246/0>. Доступ 17.12.2020.

15. Нечитайло Н. М. Модели транспортного типа по критерию времени с обработкой ресурсов в пунктах назначения // Мир транспорта. – 2013. – Т. 11. – № 1. – С. 14–19. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/299>. Доступ 17.12.2020.

16. Нечитайло Н. М. Применение минимаксных моделей транспортного типа в СППР на железнодорожном транспорте // Обозрение прикладной и промышленной математики. – 2011. – Т. 18. – Вып. 2. – С. 311–312. [Электронный ресурс]: <http://tvp.ru/conferen/vsppm12/kazad016.pdf>. Доступ 17.12.2020.

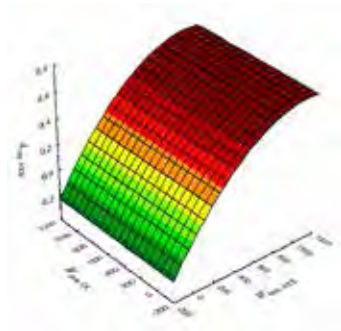
17. Прохоренков А. М., Истратов Р. А. Математическое моделирование управления перегрузочными процессами в морском порту // Мир транспорта. – 2013. – Т. 11. – № 1. – С. 20–28. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/300>. Доступ 17.12.2020.

18. Есенков А. С., Леонов В. Ю., Тизик А. П., Цурков В. И. Нелинейная целочисленная транспортная задача с дополнительными пунктами производства и потребления // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2015. – № 1. – С. 88–94. [Электронный ресурс]: <http://naukarus.com/nelineynaya-tselochislennaya-transportnaya-zadacha-s-dopolnitelnymi-punktami-proizvodstva-i-potrebleniya>. Доступ 17.12.2020. ●

Информация об авторе:

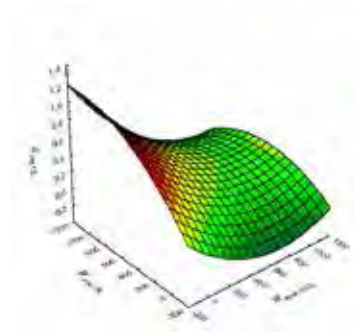
Нечитайло Николай Маркович – кандидат технических наук, доцент кафедры цифровых технологий управления транспортными процессами Российского университета транспорта, Москва, Россия, nechitaylo2007@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 17.09.2020, одобрена после рецензирования 23.12.2020, принята к публикации 14.03.2021.

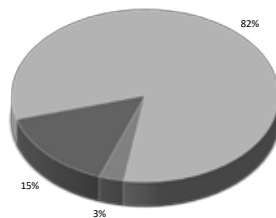


ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ 82

Энергетические показатели систем накопления электроэнергии при использовании энергии рекуперации для потребителей собственных нужд тяговой подстанции показывают значительный потенциал.

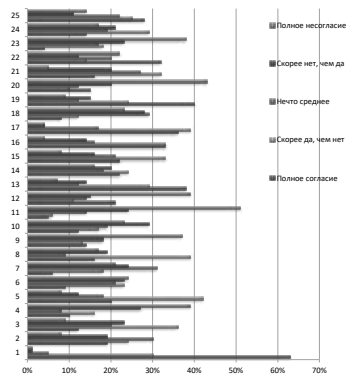


БЕЗОПАСНОСТЬ, ЭКОЛОГИЯ, УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ



БЕЗОПАСНОСТЬ НА ДОРОГАХ 96

Склонность к риску у молодых водителей: что показало анкетирование и какие выводы можно из этого сделать?



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ
УДК 621.331
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-9>

Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 3 (94). С. 82–95

Повышение эффективности рекуперации путём применения систем накопления электроэнергии для собственных нужд тяговых подстанций



Владислав НЕЗЕВАК

Владислав Леонидович Незевак

Омский государственный университет путей сообщения, Омск, Россия.

✉ NezevakWL@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

Применение рекуперативного торможения электроподвижным составом на железных дорогах постоянного тока позволяет повысить энергетическую эффективность перевозочного процесса. Эффективное применение рекуперативного торможения связано с созданием условий приёма получаемой в результате энергии. В этих целях в системе тягового электроснабжения в настоящее время применяются выпрямительно-инверторные преобразователи и поглощающие устройства.

Перспективной технологией, обеспечивающей повышение эффективности применения рекуперативного торможения, является хранение энергии, позволяющее использовать эту энергию в дальнейшем для покрытия графика тяговой нагрузки. Особенностью применения рекуперативного торможения на однопутных участках железных дорог постоянного тока с малой интенсивностью движения является необходимость применения преобразователей или поглощающих устройств. Одним из вариантов повышения эффективности использования энергии рекуперации является использование систем накопления электроэнергии для потребителей собственных нужд тяговых подстанций. Применение указанного технического решения целесообразно на однопутных участках с интенсивным применением рекуперативного торможения, эффективность которого связана со снижением электропотребления потребителями собственных нужд из внешней сети.

Выполненные зарубежные исследования позволяют обозначить тенденцию распространения технологии хранения электроэнергии в различных областях – от возобновляемых источников до электроэнергетических систем, в том числе систем электроснабжения транспорта. Международный опыт показывает успешность реализации пилотных проектов по внедрению систем накопления электроэнергии при решении задач повышения эффективности электрического городского и пригородного транспорта, а также метрополитена.

Целью работы является оценка энергетических показателей работы систем накопления электроэнергии при использовании энергии рекуперации для потребителей собственных нужд тяговой подстанции. В исследовании использованы методы математического и имитационного моделирования, оптимизации и математической статистики.

Рассмотрены вопросы применения систем накопления электроэнергии для обеспечения электроснабжения собственных нужд тяговых подстанций постоянного тока. На примере одной из подстанций рассмотрены основные вопросы функционирования систем накопления. Показаны особенности графика нагрузки рекуперации, которые обуславливают применение гибридных технологий для построения системы накопления. На примере рассматриваемой тяговой подстанции приведено решение задачи определения основных параметров системы накопления с учётом специфики работы электрохимических и электрических модулей.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, рекуперативное торможение, постоянный ток, тяговая подстанция, собственные нужды, система накопления, мощность, энергоёмкость, гибридное устройство.

Для цитирования: Незевак В. Л. Повышение эффективности рекуперации путём применения систем накопления электроэнергии для собственных нужд тяговых подстанций // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 3 (94). С. 82–95. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-9>.

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

Интенсивное развитие технологий хранения электроэнергии, преобразования и снижение удельной стоимости систем накопления в целом обуславливают рассмотрение вопросов их применения для повышения энергетической эффективности перевозок в транспортных системах.

Как показывают зарубежные исследования, в настоящее время вопросы применения систем накопления электроэнергии на основе накопителей различных видов являются актуальными, а данные технологии находят применение в сфере электроэнергетики для возобновляемых источников [1; 2], систем электроснабжения населённых пунктов [3; 4], транспортных средств [5; 6], транспортных систем [7; 8] и др.

Развитие технологий, улучшение удельных характеристик и снижение стоимости накопителей электроэнергии различных видов обуславливают перспективы применения систем накопления на подвижном составе и в системах электроснабжения железнодорожного транспорта при решении широкого круга задач [9–11].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Цель исследования – определить влияние энергоёмкости систем накопления электроэнергии на эффективность использования энергии рекуперации и мощности при их размещении на тяговых подстанциях для питания собственных нужд, определить характер изменения степени использования энергии рекуперации в целом и модулями гибридной системы накопления в зависимости от их энергоёмкости, оценить уровень параметров системы накопления гибридной технологии для собственных нужд на примере тяговой подстанции с заданной нагрузкой собственных нужд и мощностью рекуперации. Оценка энергетических показателей системы накопления выполняется с использованием *методов* математического и имитационного моделирования. Для оценки параметров гибридной системы накопления используются *методы* оптимизации и математической статистики.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Характеристика нагрузки подстанции

Системы накопления электроэнергии на электрических подстанциях и станциях при-

меняются как резервный источник электроэнергии, позволяющий повысить надёжность электроснабжения в случае исчезновения напряжения с шин переменного тока собственных нужд до 1000 В. Особенностью тяговых подстанций железнодорожного транспорта является появление на шинах постоянного тока избыточной энергии рекуперации, передаваемой на секции контактной сети смежных межподстанционных зон или в сеть переменного тока подстанции. Указанная энергия рекуперации в зависимости от текущего уровня нагрузки распределяется по присоединениям переменного тока тяговых подстанций и частично возвращается в систему внешнего электроснабжения [12]. Одним из вариантов, направленных на повышение эффективности использования энергии рекуперации, является применение систем накопления, позволяющее сглаживать график тяговой нагрузки или снижать электропотребление на тяговые нужды за счёт использования энергии рекуперации.

Приём избыточной энергии рекуперации на тяговых подстанциях осуществляется с помощью применения выпрямительно-инверторных (инверторных) преобразователей или поглощающих устройств (на основе реостатных модулей).

График тяговой нагрузки по вводу выпрямительно-инверторных преобразователей позволяет оценить уровень тяговой нагрузки и рекуперации и определить статистические показатели. В качестве примера ниже приведены графики нагрузки для одной из тяговых подстанций на однопутном участке железной дороги с интенсивным применением рекуперативного торможения. Фрагмент схемы главных электрических соединений подстанции с выпрямительно-инверторным преобразователем, рассматриваемый при решении задачи, представлен на рис. 1.

На основе данных программного комплекса «Энергия Альфа 2» построены графики нагрузки и возврата энергии рекуперации с одноминутным интервалом для тяговой подстанции. Для рассматриваемого случая максимальная мощность потребления тяговой нагрузки не превышает 12,5 МВт, рекуперации – 1,8 МВт (рис. 2). В более чем 80 % случаев измерений тяговая нагрузка по вводу выпрямительного преобразователя в течение суток не превышает 1500 кВт, а для случаев рекуперации – 1050 кВт.



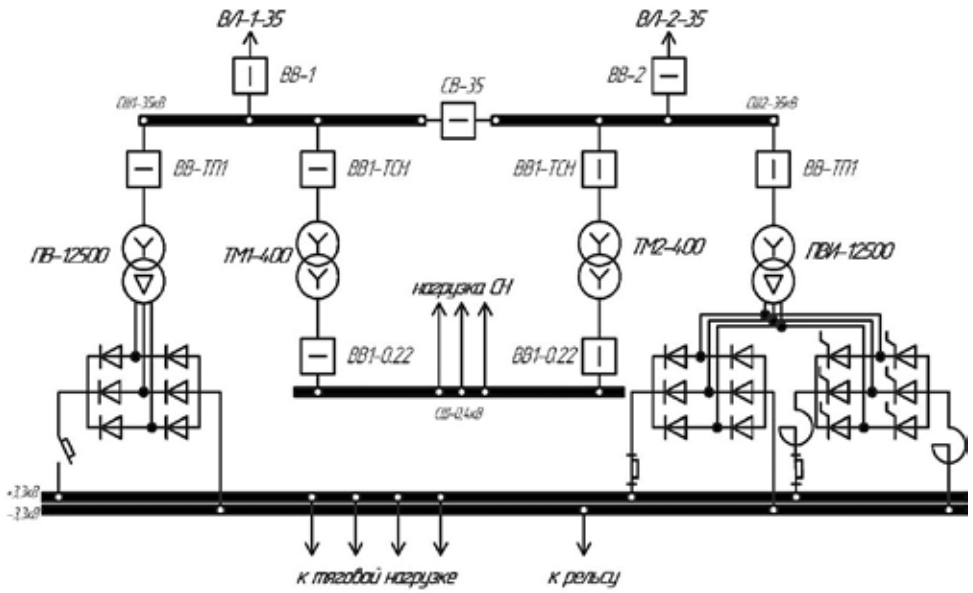


Рис. 1. Фрагмент типовой схемы тяговой подстанции постоянного тока с выпрямительно-инверторным преобразователем [13].

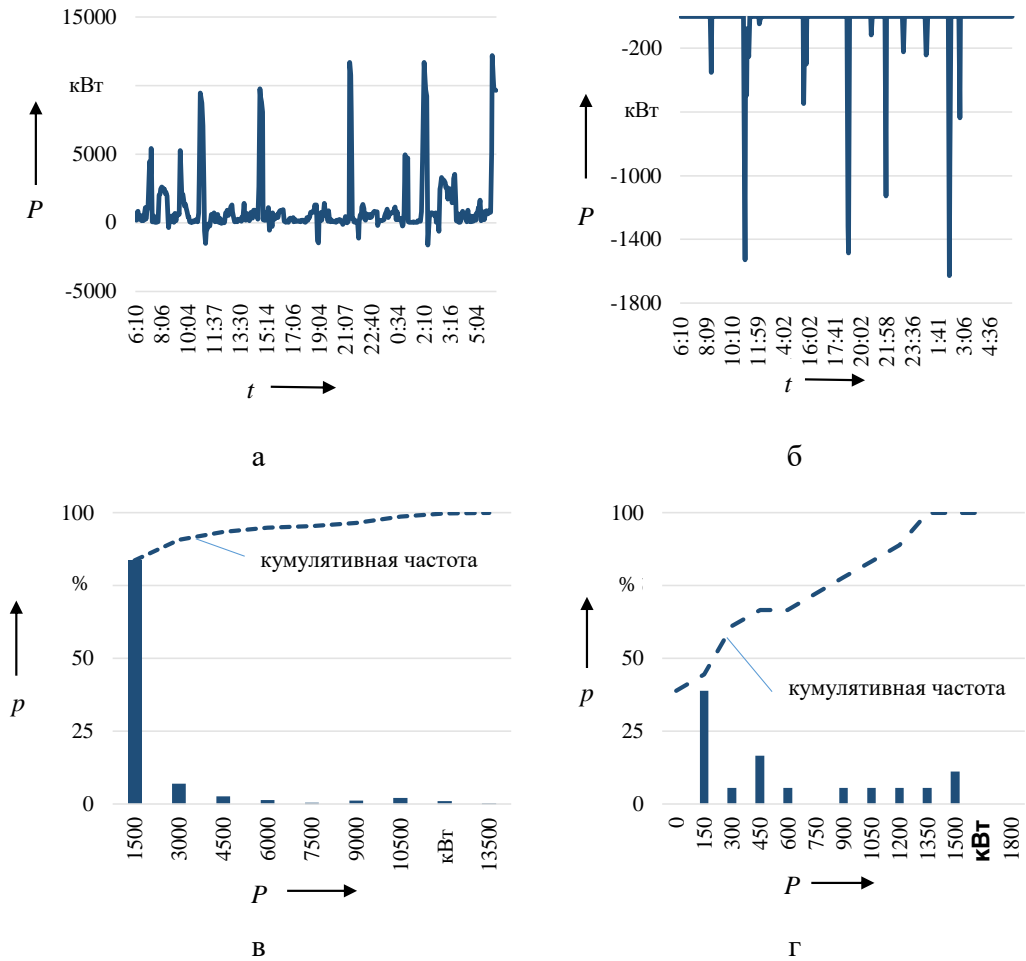


Рис. 2. Мощность тяговой нагрузки на шинах подстанции (а), рекуперации (б), распределение мощности тяговой нагрузки (в) и рекуперации (г) (выполнено автором).

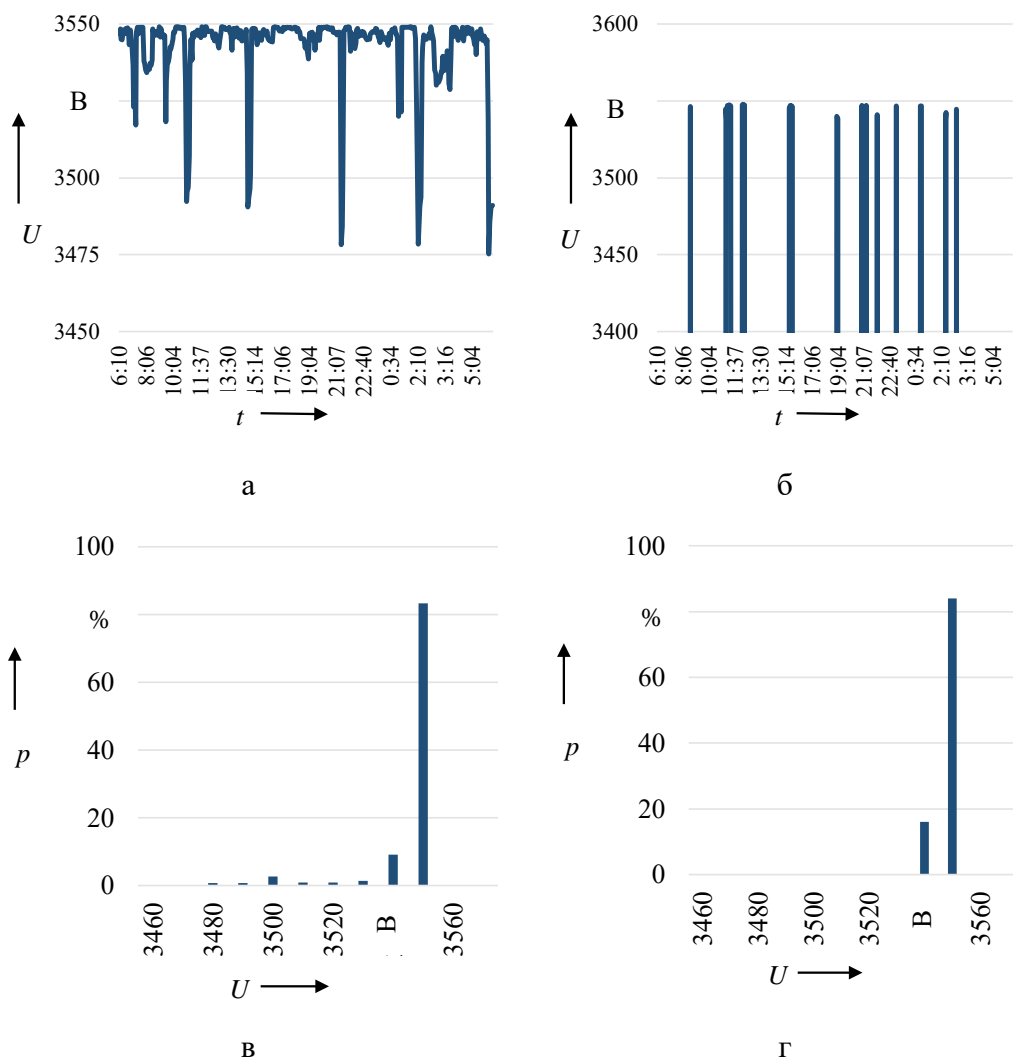


Рис. 3. Напряжения на шинах в режиме тяги (а), рекуперации (б) и распределения напряжения в режиме тяги (в) и рекуперации (г) (выполнено автором).

Расчётные или статистические данные измерений позволяют оценить для сложившегося уровня тяговой нагрузки максимальные значения мощности рекуперации $P_{\text{макс рек}}$ на шинах подстанции и определить мощность заряда системы накопления $P_{\text{СНЭ}}$ с учётом перспективы увеличения нагрузки $k_{\text{перс}}$:

$$P_{\text{з СНЭ}} \geq k_{\text{перс}} P_{\text{макс рек}} \quad (1)$$

Выбор настроек режимов работы системы накопления электроэнергии выполняется на основе уровня тяговой нагрузки и напряжения на шинах [14; 15]. Уровень напряжения на шинах подстанции в режиме тяги и возврата энергии рекуперации существенно не от-

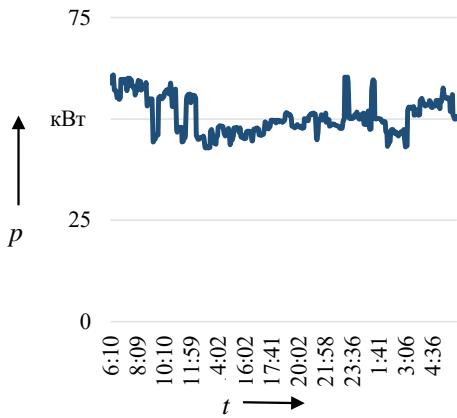
личается, более 80 % измерений фиксируют напряжение в диапазоне от 3500 до 3550 В для обоих режимов (рис. 3).

При настройке режимов работы условиями включения системы накопления на заряд будут являться отсутствие тока нагрузки на вводу 3,3 кВ и уровень напряжения, превышающий уровень напряжения холостого хода с учётом изменения напряжения на шинах высшего напряжения:

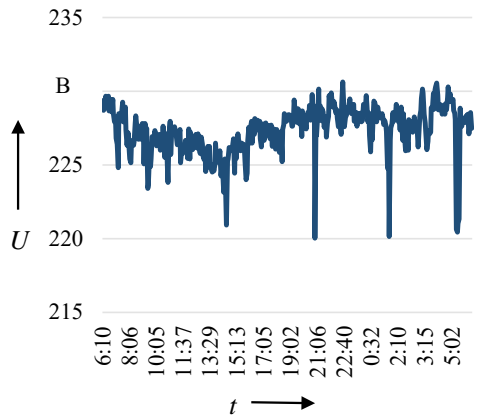
$$\begin{aligned} I_{\text{вв},3,3} &\approx 0; \\ U_{\text{ш},3,3} &\geq U_{\text{хх}}. \end{aligned} \quad (2)$$

Условия работы в режиме разряда системы накопления опираются на уровень нагрузки собственных нужд и требуемый режим поддержания напряжения (графики мощности и

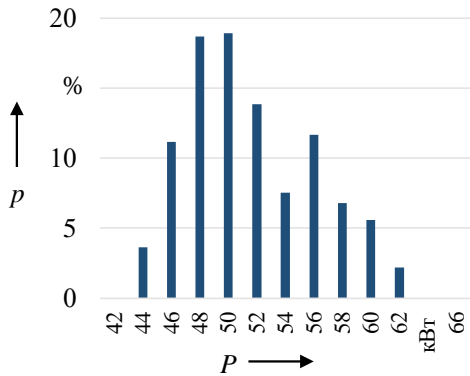




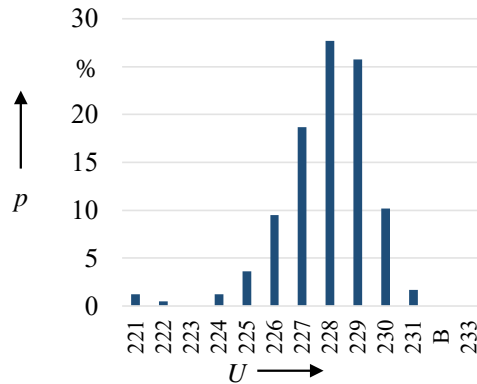
а



б

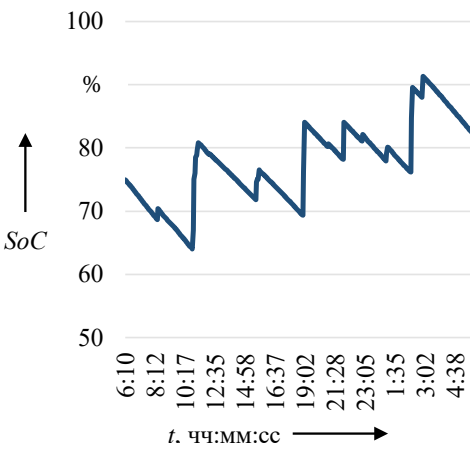


в

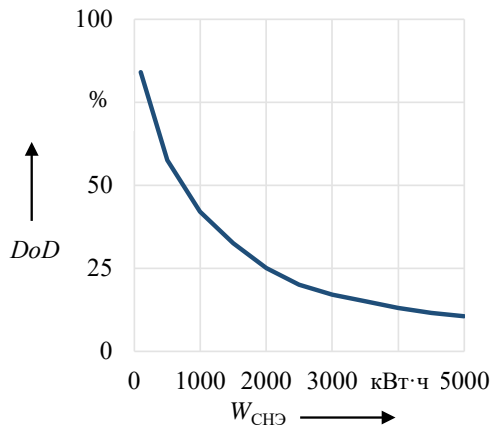


г

Рис. 4. Мощность (а) и напряжение (б) системы собственных нужд, распределение мощности (в) и напряжения на шинах 0,4 кВ (г) (выполнено автором).



а



б

Рис. 5. Степень заряженности (а) и глубины разряда (б) системы накопления (выполнено автором).

Характеристика эпизодов заряда для рассматриваемой подстанции
(составлено автором)

| $N_{\text{эпизода}}$ | $I_{\text{макс}}, \text{ A}$ | $I_{\text{мин}}, \text{ A}$ | $U_{\text{макс}}, \text{ В}$ | $U_{\text{мин}}, \text{ В}$ | $t, \text{ мин}$ |
|----------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------|
| 1 | 98,7 | 98,7 | 3546,5 | 3546,5 | 3,4 |
| 2 | 22,1 | 431,8 | 3547,3 | 3538,3 | 23,8 |
| 3 | 4,2 | 12,8 | 3547,7 | 3547,6 | 6,8 |
| 4 | 1,4 | 1,4 | 3547,6 | 3547,6 | 3,4 |
| 5 | 34,9 | 153,9 | 3547,2 | 3545,3 | 6,8 |
| 6 | 84,5 | 84,5 | 3546,6 | 3546,6 | 3,4 |
| 7 | 372,5 | 419,6 | 3539,9 | 3538,7 | 6,8 |
| 8 | 32,7 | 32,7 | 3547,2 | 3547,2 | 3,4 |
| 9 | 0,4 | 0,4 | 3547,3 | 3547,3 | 3,4 |
| 10 | 318,3 | 318,3 | 3541,1 | 3541,1 | 3,4 |
| 11 | 62,9 | 62,9 | 3546,6 | 3546,6 | 3,4 |
| 12 | 61,5 | 67,9 | 3546,8 | 3546,8 | 6,8 |
| 13 | 257,1 | 459,8 | 3542,6 | 3537,7 | 6,8 |
| 14 | 179,8 | 179,8 | 3544,6 | 3544,6 | 3,4 |
| Среднее | 109,4 | 166,0 | 3545,6 | 3544,4 | 6,1 |

напряжения приведены на рис. 4). Уровень существующей нагрузки оценивается по данным измерений и уточняется с учётом перспективы развития.

Мощность системы накопления в режиме разряда будет определяться, исходя из полного покрытия мощности собственных нужд с учётом запаса (k_3):

$$\begin{aligned} P_{\text{рСНЭ}} &\geq k_3 P_{\text{максСН}}; \\ U_{\text{минСН}} &\leq U_{\text{шСН}} \leq U_{\text{максСН}}. \end{aligned} \quad (3)$$

Условия заряда и разряда системы накопления на подстанции

На основе графиков нагрузки на шинах 3,3 кВ и собственных нужд оценивается степень заряженности системы накопления и зависимость глубины разряда от номинальной энергоёмкости. Для рассматриваемой тяговой подстанции графики степени заряженности и зависимости глубины разряда от номинальной энергоёмкости приведены на рис. 5. Оценка работы системы накопления для существующих и расчётных условий позволяет оценить характер изменения степени заряженности и требуемую энергоёмкость. Особенностью работы систем накопления для собственных нужд тяговых подстанций является многократное превышение мощности заряда над мощностью разряда и необходимость существен-

ного увеличения энергоёмкости для ограничения глубины разряда. В рассматриваемом случае в графике степени заряженности преобладает заряд, а ограничение глубины разряда до 30 % определяет энергоёмкость на уровне 2000 кВт·ч (7200 МДж). Оценка энергоёмкости системы накопления для тяговых подстанций, приведённая в [16], нуждается в корректировке в связи с относительно низким значением, указанным на уровне 200 МДж.

Помимо указанных особенностей, необходимо отметить кратковременность эпизодов заряда. Продолжительность эпизодов заряда находится в диапазоне от 1 до 24 мин, а суммарное количество эпизодов для рассматриваемого случая составляет – 14 в сутки (табл. 1). Аналогичные значения получены при исследовании тяговой нагрузки для различных объектов системы тягового электроснабжения [17–19].

Рассмотренные особенности работы систем накопления необходимо учитывать при выборе вида накопителя или использовании гибридной технологии. В настоящее время промышленностью выпускаются сетевые системы накопления на основе литий-ионных аккумуляторов различных модификаций. Изготовление в контейнерном или шкафом исполнении позволяет изменять в широком



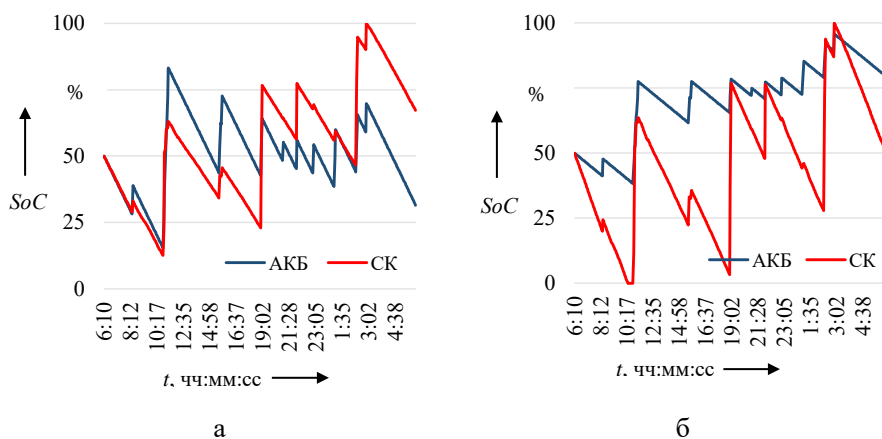


Рис. 6. Степень заряженности накопительных модулей системы накопления для первого (а) и второго (б) вариантов (выполнено автором).

диапазоне их мощности от 100 до 1000 кВт·А с возможностью увеличения путём параллельного подключения нескольких систем для получения общей мощности до 20 МВт·А и выше. Время быстрой зарядки у литий-ионных аккумуляторов составляет около 0,5 часа, что значительно меньше средней продолжительности эпизода заряда для тяговой подстанции. В то же время другие виды накопителей, например, суперконденсаторы, осуществляют зарядку за время до 10 минут.

Количество элементов в накопительных модулях вне зависимости от вида определяется требуемым уровнем напряжения системы накопления и нагрузки путём расчёта последовательно и параллельно соединённых элементов:

$$m = \frac{U_1}{U_{2\text{ном}}}; \quad (4)$$

$$n = \frac{I_1}{I_{2\text{ном}}}.$$

По условиям ограничения глубины разряда применение литий-ионных аккумуляторов в системе накопления требует большей энергоёмкости, по сравнению с другими видами накопителей электроэнергии, не чувствительными к глубине разряда, например, суперконденсаторами. В этой связи для снижения суммарной энергоёмкости системы накопления рассматриваются варианты использования гибридной технологии. В зависимости от сочетания энергоёмкости накопительных элементов в системе изменяется их степень заряженности и глубина разряда. В качестве примера для рассматриваемой подстанции приведены графики степени заряженности

для двух сочетаний энергоёмкости аккумуляторной батареи (АКБ) и суперконденсатора (СК) с равной суммарной энергоёмкостью для следующих значений (рис. 6):

1) 100/1700 (заряд) и 10/1700 (разряд) кВт и 100/500 кВт·ч соответственно с глубиной разряда 68 и 88 % для АКБ и СК соответственно (рис. 6а);

2) 150/1700 (заряд) и 10/1700 (разряд) кВт и 250/350 кВт·ч соответственно с глубиной разряда 58 и 100 % для АКБ и СК соответственно (рис. 6б).

Приведённые примеры показывают возможность изменения условий работы накопительных модулей при сохранении суммарной энергоёмкости системы.

Схемная реализация

В зависимости от подключения системы накопления к шинам постоянного тока подстанции можно выделить два варианта схемной реализации. Первый вариант – передача мощности к системе осуществляется через преобразователь постоянно-постоянного напряжения (П1), далее к шинам переменного тока собственных нужд через преобразователь постоянно-переменного напряжения П2 (рис. 7).

Во втором варианте передача мощности осуществляется трёхфазным током с помощью преобразователя П1, а питание шин постоянного тока подстанции – от накопителя через преобразователь П2.

В обоих вариантах преобразователи П1 выполняются на максимальную мощность заряда. Преобразователь П2 для первого вари-

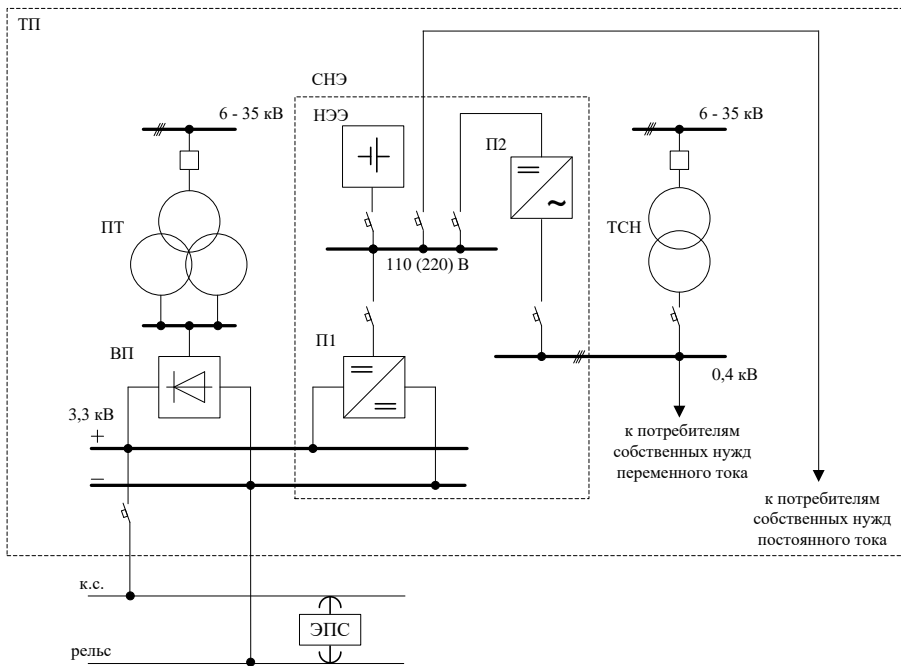


Рис. 7. Схема подключения системы накопления (первый вариант) (выполнено автором).

анта выполняется на максимальную мощность потребителей собственных нужд, для второго варианта мощность преобразователя П2 и П1 равны (рис. 8). Мощность преобразователя П2 для второго варианта выше на величину нагрузки шин постоянного тока подстанции. Преимуществом схемы исполнения системы по второму варианту является использование напряжения 0,4 кВ, что позволяет снизить уровень номинального тока в главных цепях и сократить потери в них, недостатком – необходимость применения второго преобразователя П2 с мощностью, равной мощности П1. Для обеспечения гальванической развязки цепей для питания собственных нужд схема преобразователей включает в себя раздельный трансформатор.

Модель определения параметров системы накопления

Различные варианты распределения энергоёмкости накопителей гибридной системы отличаются между собой энергетическими показателями их работы и стоимостью, являющейся интегральным показателем. В общем случае при оценке инвестиционных проектов эффект будет определяться, с одной стороны, притоками на основе экономии электроэнергии, потребляемой на собственные нужды, с другой стороны, расходами на техническое обслу-

живание, сооружения, строительномонтажные работы, замену накопительных элементов и др. Если принять допущение о том, что указанные затраты равны для всех вариантов, то при выборе энергоёмкости накопительных модулей гибридной системы целевая функция задачи будет учитывать значения параметров и их удельную стоимость (мощности и энергоёмкости). В этом случае решение задачи по определению мощности и энергоёмкости позволяет определить оптимальные значения указанных величин на основе следующей математической модели:

$$\begin{cases}
 C = aP_{\text{ном зар}}^{\text{АКБ}} + bW_{\text{ном зар}}^{\text{АКБ}} + cP_{\text{ном раз}}^{\text{СК}} + dW_{\text{ном раз}}^{\text{СК}} \rightarrow \min; \\
 P_{\text{ном зар}}^{\text{АКБ}} + P_{\text{ном зар}}^{\text{СК}} \geq \max(P_{\text{рек}} - P_{\text{СК}}^{\text{СК}}); \\
 P_{\text{ном раз}}^{\text{АКБ}} + P_{\text{ном раз}}^{\text{СК}} \geq \max(P_{\text{СК}}^{\text{СК}} - P_{\text{рек}}); \\
 P_{\text{ном}}^{\text{АКБ(СК)}} = \max(k_{\text{зар}}^{\text{АКБ(СК)}} P_{\text{ном зар}}^{\text{АКБ(СК)}}, k_{\text{раз}}^{\text{АКБ(СК)}} P_{\text{ном раз}}^{\text{АКБ(СК)}}); \\
 \forall t_i \in [0; T]: 0 \leq \sum_0^{t_i} W_{t_i}^{\text{АКБ(СК)}} \leq W_{\text{ном}}^{\text{АКБ(СК)}}; \\
 P_{\text{ном зар(раз)}}^{\text{АКБ}} \leq k_{\text{зар(раз)}}^{\text{АКБ}} \frac{W_{\text{ном}}^{\text{АКБ}}}{t}; P_{\text{ном}}^{\text{СК}} \geq P_{\text{рек}}^{\text{СК}}; \\
 d_{\text{зар}}^{\text{АКБ}} + d_{\text{зар}}^{\text{СК}} \geq d_{\text{зар мин}}; \\
 d_{\text{раз}}^{\text{АКБ}} + d_{\text{раз}}^{\text{СК}} \geq d_{\text{раз мин}}; \\
 d_{\text{исп}}^{\text{СК}} \geq d_{\text{исп мин}}^{\text{СК}}; \\
 d_{\text{исп}}^{\text{рек}} \geq d_{\text{исп мин}}^{\text{рек}}; \\
 DoD_{\text{мин}}^{\text{АКБ(СК)}} \leq DoD_{\text{макс}}^{\text{АКБ(СК)}} \leq DoD_{\text{макс}}^{\text{АКБ(СК)}}; \\
 SoC_{\text{нач}}^{\text{АКБ(СК)}} - SoC_{\text{кон}}^{\text{АКБ(СК)}} \geq 0;
 \end{cases} \quad (5)$$

где C – целевая функция;



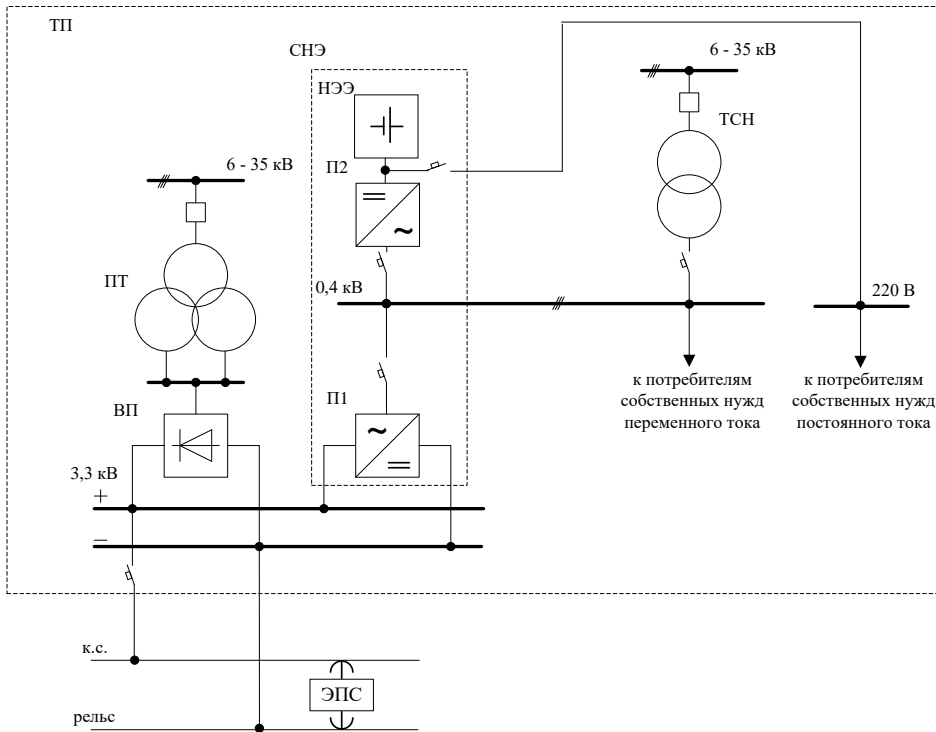


Рис. 8. Схема подключения системы накопления (второй вариант) (выполнено автором).

a, b, c, d – удельная стоимость мощности и энергоёмкости аккумуляторной батареи и суперконденсатора соответственно;

$P_{ном}^{АКБ}, W_{ном}^{АКБ}, P_{ном}^{СК}, W_{ном}^{СК}$ – номинальные мощ-

ности и номинальные энергоёмкости аккумуляторной батареи и суперконденсатора соответственно;

$P_{ном\ зар}^{АКБ}, P_{ном\ зар}^{СК}$ – номинальные мощности

заряда аккумуляторной батареи и суперконденсатора соответственно;

$P_{рек}, P^{СН}$ – мощности рекуперации и соб-

ственных нужд соответственно;

$P_{ном\ разр}^{АКБ}, P_{ном\ разр}^{СК}$ – номинальные мощности

разряда аккумуляторной батареи и суперконденсатора соответственно;

$k_{зар}^{АКБ(СК)}, k_{разр}^{АКБ(СК)}$ – коэффициенты увеличе-

ния номинальной мощности заряда и разряда для аккумуляторной батареи и суперконденсатора соответственно;

$W_{t_i}^{АКБ(СК)}, W_{ном}^{АКБ(СК)}$ – объём энергии на интер-

вале эпизода t_i и номинальная энергоёмкость аккумуляторной батареи и суперконденсатора соответственно;

t – расчётная продолжительность режимов заряда и разряда;

$d_{исп}^{СН}$ – коэффициент использования электро-
энергии собственных нужд при разряде:

$$d_{исп}^{СН} = \frac{W_{разр}}{W^{СН}}; \quad (6)$$

$d_{исп}^{рек}$ – коэффициент использования энергии рекуперации при заряде:

$$d_{исп}^{рек} = \frac{W_{зар}}{W^{рек}}; \quad (7)$$

$d_{зар(разр)}^{АКБ(СК)}$ – коэффициент использования энергии в режимах заряда и разряда для аккумуляторной батареи и суперконденсатора соответственно:

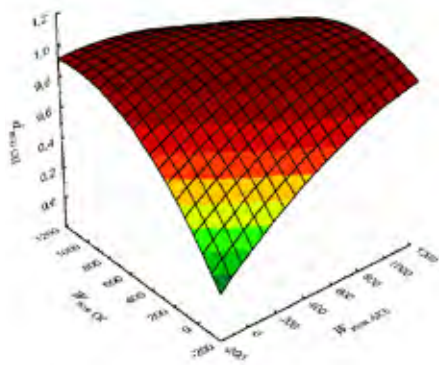
$$d_{зар(разр)}^{АКБ(СК)} = \frac{W_{зар(разр)}^{АКБ(СК)}}{W_{зар(разр)}}; \quad (8)$$

$W_{разр}, W_{зар}$ – объёмы энергии системы накопления в режиме разряда и заряда соответственно;

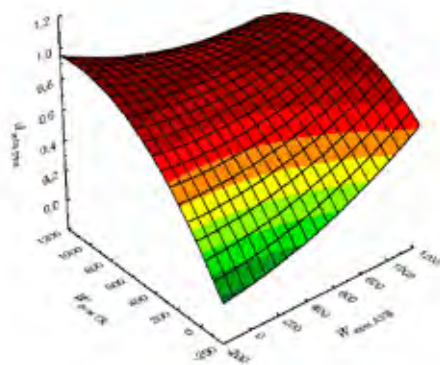
$W^{СН}, W^{рек}$ – объём электроэнергии собственных нужд и рекуперации за расчётный период;

$W_{зар(разр)}^{АКБ(СК)}$ – объём электроэнергии в режиме заряда и разряда для аккумуляторной батареи и суперконденсатора соответственно.

Решение задачи выполняется в два этапа. На первом этапе в качестве исходных данных

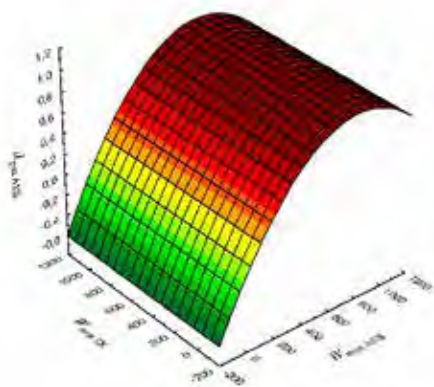


а

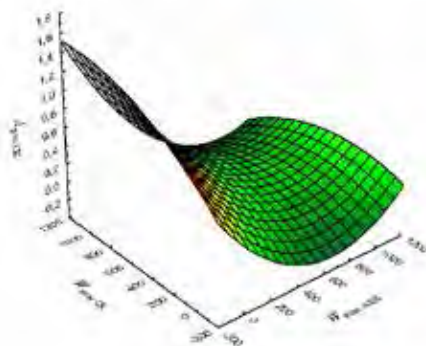


б

Рис. 9. Коэффициенты использования энергии собственных нужд (а) и энергии рекуперации (б) (выполнено автором).



а



б

Рис. 10. Коэффициенты использования энергии разряда аккумуляторной батареи (а) и суперконденсатора (б) (выполнено автором).

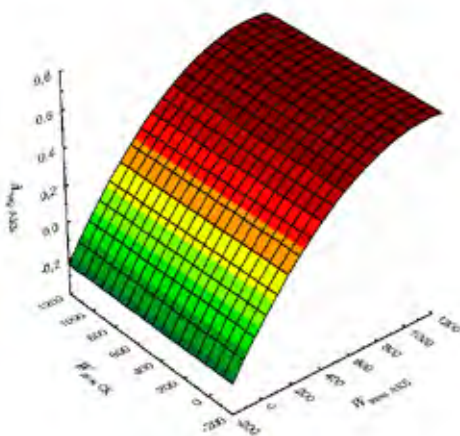
принимается график нагрузки собственных нужд подстанции и мощности избыточной рекуперации на шинах подстанции. Для заданных профилей нагрузки выполняется имитационное моделирование для различной энергоёмкости и мощности накопителей системы, определяются коэффициенты использования энергии в режимах заряда и разряда.

На данном этапе определяются ограничения по максимальной мощности заряда и разряда аккумуляторной батареи и суперконденсатора, особенности работы, к которым следует отнести приоритет заряда для аккумуляторной батареи и ограничение мощности её разряда. Для суперконденсатора задаются

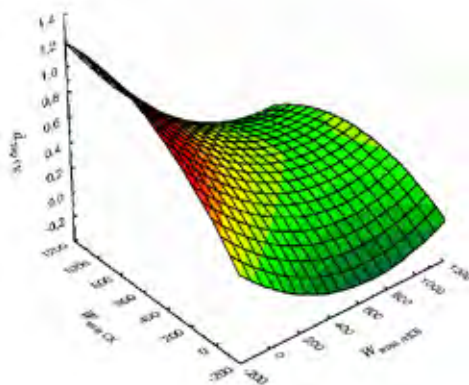
условия, при которых максимальная мощность данного модуля используется как дополнительная для обеспечения приема мощности рекуперации.

Имитационное моделирование работы системы накопления для различных вариантов сочетания энергоёмкостей позволяет получить функции, описывающие изменение коэффициентов использования энергии в режимах заряда и разряда для модулей аккумуляторной батареи и суперконденсатора при различной комбинации энергоёмкости и мощности. Полученные значения используются для аппроксимации полученных значений для каждого коэффициента.





а



б

Рис. 11. Коэффициенты использования энергии заряда аккумуляторной батареи (а) и суперконденсатора (б) (выполнено автором).

На втором этапе решается задача отыскания оптимальных параметров системы накопления. Указанная задача относится к задачам условной нелинейной оптимизации, решение которой выполняется прямыми и непрямыми методами. Для решения рассматриваемой задачи применяются методы спуска и штрафных функций. В методах спуска выбор направления спуска учитывает ограничения задачи в явном виде, в методах штрафных функций задачу сводят к последовательности задач безусловной оптимизации за счёт добавления к целевой функции вспомогательных функций и переходе к учёту ограничений в неявном виде.

Результаты моделирования

Результаты имитационного моделирования для заданного графика нагрузки рассматриваемой подстанции позволяют определить изменение расчётных коэффициентов в зависимости от энергоёмкости модулей системы накопления. Для заданного графика нагрузки потребителей собственных нужд и рекуперации доли использования мощности и энергии определяются параметрами накопительных модулей.

График нагрузки собственных нужд и возврата энергии рекуперации на шины рассматриваемой подстанции позволяет определить характер изменения коэффициентов использования энергии модулей в режимах заряда и разряда. Графики изменения коэффициентов использования, полученные в программе Statistica, приведены на рис. 9.

Полученные результаты для коэффициентов использования нагрузки собственных нужд и энергии рекуперации могут быть представлены в аналитическом виде:

$$d_{\text{исп}}^{\text{СН}} = 0,5007 + 0,0007 \cdot x + 0,001 \cdot y - 2,6219E-7 \cdot x^2 - 5,9361E-7 \cdot x \cdot y - 5,1047E-7 \cdot y^2; \quad (9)$$

$$d_{\text{исп}}^{\text{рек}} = 0,3439 + 0,0001 \cdot x + 0,0011 \cdot y + 1,9312E-7 \cdot x^2 - 4,2204E-7 \cdot x \cdot y - 5,4906E-7 \cdot y^2. \quad (10)$$

где x – номинальная энергоёмкость аккумуляторной батареи $W_{\text{ном}}^{\text{АКБ}}$;

y – номинальная энергоёмкость суперконденсатора $W_{\text{ном}}^{\text{СК}}$.

Изменение коэффициентов использования энергии разряда аккумуляторной батареи и суперконденсатора приведены на рис. 10 и могут быть представлены в аналитическом виде:

$$d_{\text{раз}}^{\text{АКБ}} = -0,0323 + 0,0025 \cdot x - 1,4095E-17 \cdot y - 1,5934E-6 \cdot x^2 + 5,6831E-21 \cdot x \cdot y + 8,0468E-21 \cdot y^2; \quad (11)$$

$$d_{\text{раз}}^{\text{СК}} = 0,5329 - 0,0019 \cdot x + 0,001 \cdot y + 1,3312E-6 \cdot x^2 - 5,9361E-7 \cdot x \cdot y - 5,1047E-7 \cdot y^2. \quad (12)$$

Графики коэффициентов использования энергии заряда аккумуляторной батареи и суперконденсатора приведены на рис. 11 и могут быть представлены в следующем аналитическом виде:

$$d_{\text{зар}}^{\text{АКБ}} = 0,0225 + 0,0012 \cdot x - 3,2526E-18 \cdot y - 5,1582E-7 \cdot x^2 + 9,7887E-21 \cdot x \cdot y - 2,1176E-21 \cdot y^2; \quad (13)$$

$$d_{\text{зар}}^{\text{СК}} = 0,3214 - 0,0011 \cdot x + 0,0011 \cdot y + 7,0893E-7 \cdot x^2 - 4,2204E-7 \cdot x \cdot y - 5,4906E-7 \cdot y^2. \quad (14)$$

Глубина разряда по результатам расчётов в аналитическом виде описывается следующим образом:

$$DoD^{AKB} = 29,6301 + 0,1349 \cdot x - 2,4425E-15 \cdot y - 0,0001 \cdot x^2 + 9,385E-19 \cdot x \cdot y + 1,7483E-18 \cdot y^2; \quad (15)$$

$$DoD^{CK} = 59,2418 - 0,0526 \cdot x + 0,1388 \cdot y + 1,14E-7 \cdot x^2 + 1,8425E-5 \cdot x \cdot y - 0,0002 \cdot y^2. \quad (16)$$

Для решения оптимизационной задачи в среде Matlab математическая модель принимает следующий вид представления (17).

В качестве примера ниже представлены результаты решения задачи, полученные для следующих исходных данных:

$$a = 30 \text{ о. е./кВт}; b = 40 \text{ о. е./кВт}\cdot\text{ч};$$

$$C = 60 \text{ о. е./кВт}; d = 80 \text{ о. е./кВт}\cdot\text{ч};$$

$$P_{\text{рек}} = 1700 \text{ кВт}; P_{\text{CH}} = 60 \text{ кВт}, P_{\text{СК}} = 1700 \text{ кВт};$$

$$DoD_{\text{мин}}^{\text{AKB(CK)}} = 0\%; DoD_{\text{макс}}^{\text{AKB}} = 30\%. DoD_{\text{макс}}^{\text{CK}} = 100\%.$$

Представление задачи в среде Matlab (18)

Значение целевой функции для заданных условий составило 170,7 тыс. относительных единиц (о. е.) стоимости при следующих параметрах системы накопления: мощность и энергоёмкость аккумуляторной батареи – 269,3 кВт и 1346 кВт·ч, суперконденсатора – 1430,1 кВт и 286,1 кВт·ч.

Предложенная математическая модель позволяет получить основные параметры гибридной системы накопления с минимальной стоимостью на основе исходных данных о нагрузке и рекуперации на тяговой подстанции, заданных ограничениях и принятых допущениях. В качестве целевой функции в модели может быть принята стоимость жизненного цикла с учётом изменения срока службы накопительных

$$\left\{ \begin{array}{l} f = ax_1 + bx_2 + cx_3 + dx_4 \rightarrow \min : \text{целевая функция;} \\ -x_1 - x_3 + 1700 \leq 0 : \text{ограничение по мощности;} \\ -x_1 \leq 0 : \text{положительные значения} \\ -x_2 \leq 0 \\ -x_3 \leq 0 \\ -x_4 \leq 0 \\ x_1 \leq 2000 : \text{ограничение области положительных значений;} \\ x_2 \leq 10000 \\ x_3 \leq 2000 \\ x_4 \leq 10000 \\ -0,2x_2 + x_1 \leq 0 : \text{соотношение мощности и энергоёмкости АКБ;} \\ -5x_4 + x_3 \leq 0 : \text{соотношение мощности и энергоёмкости СК;} \\ x_2 + x_4 - 10000 \leq 0 : \text{суммарная энергоёмкость;} \\ -x_2 - x_4 + 500 \leq 0 : \text{минимальная энергоёмкость;} \\ 0,3994 - 0,0006 \cdot x_2 - 0,001 \cdot x_4 + 2,1E-7 \cdot x_2^2 + \\ + 5,9E-07 \cdot x_2 \cdot x_4 + 5,1E-07 \cdot x_4^2 \leq 0 : \text{доля использования} \\ \text{энергии нагрузки собственных нужд;} \\ 0,5561 - 1,0e-4 \cdot x_2 - 0,0011 \cdot x_4 - 1,9E-7 \cdot x_2^2 + \\ + 0,00422E \cdot x_2 \cdot x_4 + 5,5E-7 \cdot x_4^2 \leq 0 : \text{доля использования} \\ \text{энергии рекуперации;} \\ 29,6301 + 0,1349 \cdot x_2 - 2,4425E-15 \cdot x_4 - 0,0001 \cdot x_2^2 + \\ + 9,385E-19 \cdot x_2 \cdot x_4 + 1,7483E-18 \cdot x_4^2 : \text{глубина разряда АКБ;} \\ 59,2418 - 0,0526 \cdot x_2 + 0,1388 \cdot x_4 + 1,14E-7 \cdot x_2^2 + \\ + 1,8425E-5 \cdot x_2 \cdot x_4 - 0,0002 \cdot x_4^2 : \text{глубина разряда СК.} \end{array} \right. \quad (17)$$



```

>> A=[-1,0,-1,0;0,0,1,-5;0,1,0,1;0,-1,0,-1];
b=[-1700;0;10000;-500];
Aeq=[1,-0.2,0,0];
beq=0;
lb = [0,0,0,0];
ub = [2000,10000,2000,10000];
a1=30;b2=40;c3=60;d4=80;
x0=[100;1000;100;1000];
fun= @(x)a1*x(1)+b2*x(2)+c3*x(3)+d4*x(4);
nonlcon = @unitdisk;
x=fmincon(fun,x0,A,b,Aeq,beq);
[x,fval,exitflag,output,lambda,grad,hessian]
fmincon(fun,x0,A,b,Aeq,beq,lb,ub,nonlcon)

```

(18)

Результаты решения задачи:

```

x(1) = 0.2693·103
x(2) = 1.3463·103
x(3) = 1.4307·103
x(4) = 0.2861·103
fval = 1.7066e+05
      iterations: 12
      funcCount: 65
  constrviolation: 5.6843e-14
      stepsize: 7.2468e-06
      algorithm: 'interior-point'
  firstorderopt: 2.0000e-06
      cgiterations: 0

```

элементов, скорости саморазряда, деградации, воздействия на окружающую среду и др. Решение указанной задачи позволяет определить параметры систем накопления и для других объектов системы тягового электроснабжения [20–23].

Выводы

Предложенный вариант применения системы накопления электроэнергии позволяет сократить электропотребление на собственные нужды за счёт использования энергии рекуперации и обеспечить прием избыточной энергии рекуперации на шины тяговой подстанции постоянного тока.

Особенностями работы систем накопления для собственных нужд тяговых подстанций является превышение мощности заряда над мощностью разряда, необходимость существенного увеличения энергоёмкости для ограничения глубины разряда при использовании накопителей электрохимического вида, кратковременность эпизодов заряда, средняя продолжительность которых составляет около пяти минут. Указанные особенности обуславливают применение видов накопителей, отличных от электрохимических, использование гибридных систем, способных осуществлять быструю зарядку, глубина разряда которых не оказывает влияние на ресурс работы.

Предложено два варианта подключения системы накопления электроэнергии к собственным нуждам тяговой подстанции, отличающихся мощностью преобразователей.

На основе имитационного моделирования работы накопителей гибридной системы накопления получены результаты изменения коэффициентов использования энергии рекуперации, собственных нужд, в т.ч. отдельно по накопительным элементам системы.

Предложена математическая модель, позволяющая на основе изменения коэффициентов использования энергии рекуперации и собственных нужд по накопительным элементам определить мощность и энергоёмкость системы накопления по критерию стоимости системы.

Полученные результаты решения позволяют оценить параметры гибридной системы накопления электроэнергии для собственных нужд тяговых подстанций на сети железных дорог России и за рубежом.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Rahman, F., Rehman, S., Abdul-Majeed, M. A. Overview of energy storage systems for storing electricity from renewable energy sources in Saudi Arabia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012, Vol. 16 (1), pp. 274–283. DOI: 10.1016/j.rser.2011.07.153.
2. Beaudin, M., Zareipour, H., Schellenberglabe, A., Rosehart, W. Energy storage for mitigating the variability of

renewable electricity sources: An updated review. *Energy for Sustainable Development*, 2010, Vol. 14 (4), pp. 302–314. DOI: 10.1016/j.esd.2010.09.007.

3. Qinglong, Meng; Yang, Li; Xiaoxiao, Ren; Chengyan, Xiong; Wenqiang, Wang; Jiwei, You. A demand-response method to balance electric power-grids via HVAC systems using active energy-storage: Simulation and on-site experiment. *Energy Reports*, 2021, Vol. 7, pp. 762–777. DOI: doi.org/10.1016/j.egyr.2021.01.083.

4. Jiang, Shaohan; Li, Yongping; Suo, Cai. IFQP-EPS: Analyzing effects of queuing and storage issues on electric power systems under dual uncertainties. *Resources, Conservation and Recycling*, 2019, Vol. 145, pp. 241–260. DOI: 10.1016/j.resconrec.2019.02.023.

5. Oldenbroek, V., Verhoef, L. A., van Wijk, A. J. M. Fuel cell electric vehicle as a power plant: Fully renewable integrated transport and energy system design and analysis for smart city areas. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2017, Vol. 42 (12), pp. 8166–8196. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2017.01.155.

6. Calise, F., Cappiello, F. L., Carteni, A., Dentice d'Accadia, M., Vicidomini, M. A novel paradigm for a sustainable mobility based on electric vehicles, photovoltaic panels and electric energy storage systems: Case studies for Naples and Salerno (Italy). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019, pp. 111, 97–114. DOI: 10.1016/j.rser.2019.05.022.

7. Fletcher, D. I., Harrison, R. F., Nallaperuma, S. TransEnergy – a tool for energy storage optimization, peak power and energy consumption reduction in DC electric railway systems. *Journal of Energy Storage*, 2020, Vol. 30, 101425. DOI: 10.1016/j.est.2020.101425.

8. Ebadi, R., Yazdankhah, A. S., Mohammadi-Ivatloo, B., Kazemzadeh, R. Coordinated power and train transportation system with transportable battery-based energy storage and demand response: A multi-objective stochastic approach. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 123923. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.123923.

9. Rebrov I., Kotelnikov A., Ermolenko D., Shevlyugin M. Electric power accumulators in system of supplying railways with traction energy by direct current 2018, TS 2018, MATEC Web of Conferences, 2018, pp. 01057.

10. Буйносос А. П., Дурандин М. Г., Тутынин О. И. Перспективы использования накопителей электрической энергии на моторвагонном подвижном составе // *Вестник Уральского государственного университета путей сообщения*. – 2020. – № 4 (48). – С. 35–45. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44543617>. Доступ 27.04.2021.

11. Валинский О. С., Евстафьев А. М., Никитин В. В. Эффективность процессов энергообмена в тяговых электроприводах с бортовыми ёмкостными накопителями энергии // *Электротехника*. – 2018. – № 10. – С. 10–14. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35671043>. Доступ 27.04.2021.

12. Черемисин В. Т., Кондратьев Ю. В., Привалов С. Я. и др. Анализ возможности применения сальдированного учёта электроэнергии на тягу поездов // *Известия ПГУПС*. – 2008. – № 8. – С. 219–232. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11913819>. Доступ 27.04.2021.

13. Незевак В. Л., Самолинов С. С., Хусаинов Е. К. Оценка эффективности применения систем накопления электроэнергии для обеспечения собственных нужд тяговых подстанций постоянного тока // *Материалы IV международной научно-*

практической конференции в рамках Научно-образовательного форума. – Омск. – 2020. – С. 49–56. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45736176>. Доступ 27.04.2021.

14. Незевак В. Л. Влияние пороговых напряжений системы накопления электроэнергии на энергетические показатели тягового электроснабжения // *Вестник транспорта Поволжья*. – 2020. – № 4 (82). – С. 28–37. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44249610>. Доступ 27.04.2021.

15. Незевак В. Л. Определение мощности и энергоёмкости систем накопления электроэнергии для улучшения эксплуатационных показателей тягового электроснабжения // *Известия Транссиба*. – 2020. – № 2 (42). – С. 9–25. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-moschnosti-i-energoemkosti-sistem-nakopleniya-elektroenergii-dlya-uluchsheniya-ekspluatatsionnyh-pokazateley-tyagovogo-pdf>. Доступ 27.04.2021.

16. Шевлюгин М. В., Голицына А. Е., Белов М. Н. и др. Повышение надёжности электроснабжения собственных нужд тяговых подстанций метрополитена с помощью накопителей энергии // *Электротехника*. – 2020. – № 9. – С. 26–31. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44000555>. Доступ 27.04.2021.

17. Незевак В. Л., Шатохин А. П. Характеристика тяговой нагрузки для определения параметров накопителя электрической энергии // *Мир транспорта*. – 2018. – № 2 (75). – С. 84–94. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.eplib.ru/jour/article/view/1436>. Доступ 27.04.2021.

18. Черемисин В. Т., Незевак, В. Л. Перспективы применения систем накопления электроэнергии на Московском центральном кольце // *Бюллетень результатов научных исследований*. – 2020. – № 2. – С. 33–44. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-primeneniya-sistem-nakopleniya-elektroenergii-na-moskovskom-tsentralnom-koltse>. Доступ 27.04.2021.

19. Nezevak, V., Cheremisin, V., Shatokhin, A. Operating modes of electric energy storage systems on the Moscow Central Ring. *E3S Web of Conferences*, 2019, Vol. 135, No. 01063. DOI: 10.1051/e3sconf/201913501063.

20. Доманов К. И., Незевак В. Л., Шатохин А. П. Исследование режимов работы системы тягового электроснабжения в целях установки накопителя электрической энергии // *Известия Транссиба*. – 2018. – № 2 (34). – С. 65–75. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-rezhimov-raboty-sistemy-tyagovogo-elektrosnabzheniya-v-tselyah-ustanovki-nakopatelya-elektricheskoy-energii-pdf>. Доступ 27.04.2021.

21. Nezevak, V., Cheremisin, V., Shatokhin, A. Electric energy storage units applicability assessment of different kinds in the conditions of Moscow central ring. *8th International Scientific Siberian Transport Forum. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2020, Vol. 1115, pp. 42–51. DOI: 10.1007/978-3-030-37916-2.

22. Nezevak, V., Cheremisin, V. Determination of electric energy storage units parameters of direct current traction power supply in conditions of goods traffic dominance. *FarEastCon*, 2020, Article number 9271611, Category number CFP20M35-ART. Code 165655. DOI: 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271611.

23. Nezevak, V., Cheremisin, V., Shatokhin, A. Assessment of energy intensity of the drive for traction power supply system. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2020, Vol. 982, pp. 524–538. DOI: 10.1007/978-3-030-19756-8_50.

Информация об авторе:

Незевак Владислав Леонидович – кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения железнодорожного транспорта Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС), Омск, Россия, NezevakWL@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 25.03.2021, одобрена после рецензирования 15.06.2021, принята к публикации 01.07.2021.





Исследование склонности к риску среди водителей легковых автомобилей в возрасте 18–25 лет



Александр ПОПОВ

Александр Владимирович Попов

Волгоградский государственный технический университет, Волжский, Россия.

✉ alexandrus238@yandex.ru.

АННОТАЦИЯ

Применительно к Российской Федерации и при сопоставлении с другими странами рассматривается универсальная проблема влияния на дорожно-транспортную аварийность особенностей поведения неопытных молодых водителей.

В Российской Федерации в последние годы наблюдается снижение общего числа ДТП и погибших в них. Это говорит об эффективной профилактической работе ГИБДД и других, связанных с этим служб, но при этом всё равно сохраняется довольно большое количество автомобильных аварий.

Одной из проблем является высокая доля ДТП среди неопытных молодых водителей. По данным исследований, проведённых в различных странах, особенно велика вероятность дорожно-транспортных происшествий в первый год после получения водительского удостоверения. Подавляющее большинство водителей-виновников ДТП, имеющих стаж управления транспортным средством менее полугода, относятся к возрастной категории 18–25 лет. Одной из основных причин, влияющих на повышенную вероятность ДТП, является их чрезмерная склонность к риску.

Очевидно, что рискованное вождение свойственно молодому возрасту, который влияет и на эксплуатацию автомобиля. Готовность к риску находится в прямой зависимости

с количеством допускаемых ошибок, что значительно повышает вероятность возникновения ДТП.

Цель работы – оценка склонности к риску среди водителей в возрасте 18–25 лет. Методы исследования включали проведение анкетирования молодых людей указанного возраста и анализ полученных результатов. Полученные в ходе анкетирования цифры говорят о том, что большинство опрошенных (82 %) имеют «средний уровень склонности к риску». Но «рискованных водителей» тоже достаточно много (15 %). Причём, эти 15 %, находятся в самой юной возрастной группе от 18 до 21 года.

По результатам работы предлагается: во время обучения в автошколе будущему водителю получать не только теоретические знания и практические уроки вождения, но и проходить психологический анализ для определения его приспособленности к участию в дорожном движении; ввести в Правила дорожного движения определённые ограничения «для молодых и начинающих водителей». Следует ограничить разрешённую мощность автомобиля и допустимую скорость (введение повышающего коэффициента для штрафов за превышение скорости), запретить использование машины в тёмное время суток и в сложных дорожных условиях, перевозку пассажиров.

Ключевые слова: дорожно-транспортное происшествие, водитель, склонность к риску, тест, аварийность, поведение водителя, молодой водитель, безопасность движения.

Для цитирования: Попов А. В. Исследование склонности к риску среди водителей легковых автомобилей в возрасте 18–25 лет // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 3 (94). С. 96–102. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-10>.

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

Уровень автомобилизации в России с каждым годом увеличивается. Если в 2016 году количество зарегистрированных легковых автомобилей в собственности граждан в РФ составляло 43 млн ед., то на 1 января 2021 года этот показатель увеличился до примерно 45 млн. что составляет около 76 % от общего числа зарегистрированных транспортных средств. За коммерческой легковой техникой числится 7,1 % от общего объёма, за грузовыми автомобилями – около 6,4 %, и примерно 0,7 % российского парка занимают автобусы¹. Проблема большого количества ДТП на российских дорогах всё ещё остаётся актуальной, хотя за несколько прошедших лет очевидно снижение числа ДТП и погибших в них, что говорит о грамотной профилактической работе ГИБДД и других служб [1, с. 52]. Уровень смертности при ДТП в РФ составляет 11,5 случаев на 100 тыс. населения². В наиболее благополучных с точки зрения безопасности дорожного движения странах Европы (Великобритания, Нидерланды, Швейцария) этот показатель составляет около трёх случаев на 100 тыс. населения [2, с. 4].

Вместе с тем в последние годы растёт количество молодых и неопытных водителей в возрастной группе от 18 до 25 лет. Они довольно часто становятся виновниками ДТП. За 2020 год такими водителями совершено 17753 происшествий³ (рис. 1).

Исследования, которые регулярно проводятся в развитых странах, подтверждают, что риск возникновения ДТП в течение первого года после получения водительского удостоверения особенно высок [3, с. 89]. Согласно этим работам, можно выделить факторы, которые однозначно повышают этот риск: «стиль вождения и техническое состояние автомобиля; психологические особенности (например, жажда получения острых ощущений и слишком высокая уверенность в себе); усиленное (по сравнению с людьми старшего возраста) влияние алкоголя». «Превышение

скорости или несоответствие скоростного режима общей скорости транспортного потока» – самые распространённые нарушения у неопытных водителей. Также причиной серьёзных ДТП у таких водителей является «езда в тёмное время суток» [3].

Подавляющее большинство виновников аварий со стажем управления автомобилем до полугода, относятся к самой молодой категории³. Например, в г. Волжский Волгоградской области (население около 324 тыс.) с 2013 по 2019 гг. доля ДТП совершённых неопытными молодыми водителями варьировалась от 15 до 37 % (рис. 2). По данным зарубежных исследований, молодые водители становятся жертвами аварий чаще, чем водители старшего возраста [4].

Гибель в ДТП является одной из самых распространённых причин смерти среди молодых людей. Управление таким сложным механизмом, как автомобиль – не простая задача. А сам автомобиль, как известно, представляет опасность. Поэтому каждый человек, решивший сесть за руль, должен понимать, что ответственен не только за себя, но и за окружающих. Невосполнимые последствия от аварий, в которых виноваты молодые и неопытные водители, их количество, обусловили внимание учёных к факторам, приводящим к таким ДТП.

В результате таких исследований, проведённых, например, в Новой Зеландии, было выявлено несколько факторов, повышающих риск смертности в результате ДТП: «осознанное превышение скорости; неиспользование удерживающих устройств для пассажиров; употребление алкоголя. Одной из основных причин является повышенная склонность к риску молодых водителей» [5]. Склонность к риску зависит «от возраста и может значительно влиять на условия эксплуатации транспортного средства» [5]. Рискованное вождение находится в прямой зависимости с количеством допускаемых ошибок, что, естественно, значительно повышает вероятность возникновения ДТП. Подобное поведение является «обычным» среди молодых водителей [6]. Степень высокой склонности к риску объясняется молодостью и неопытностью.

Кроме того, для молодых водителей уровень риска имеет экспоненциальную зависимость от количества пассажиров. «Водители в возрасте 18–25 лет проявляют особое пренебрежение к правилам, стремясь реали-

¹ Структура парка транспортных средств в России. Январь 2021 года. [Электронный ресурс]: <https://universeofcars.ru/skolko-mashin-v-rossii/>. Доступ 11.03.2021.

² Число лиц, погибших в ДТП, на 100 тыс. населения. [Электронный ресурс]: <https://www.fedstat.ru/indicator/36230>. Доступ 20.10.2020.

³ Показатели состояния безопасности дорожного движения. [Электронный ресурс]: <http://stat.gibdd.ru/>. Доступ 10.03.2021.



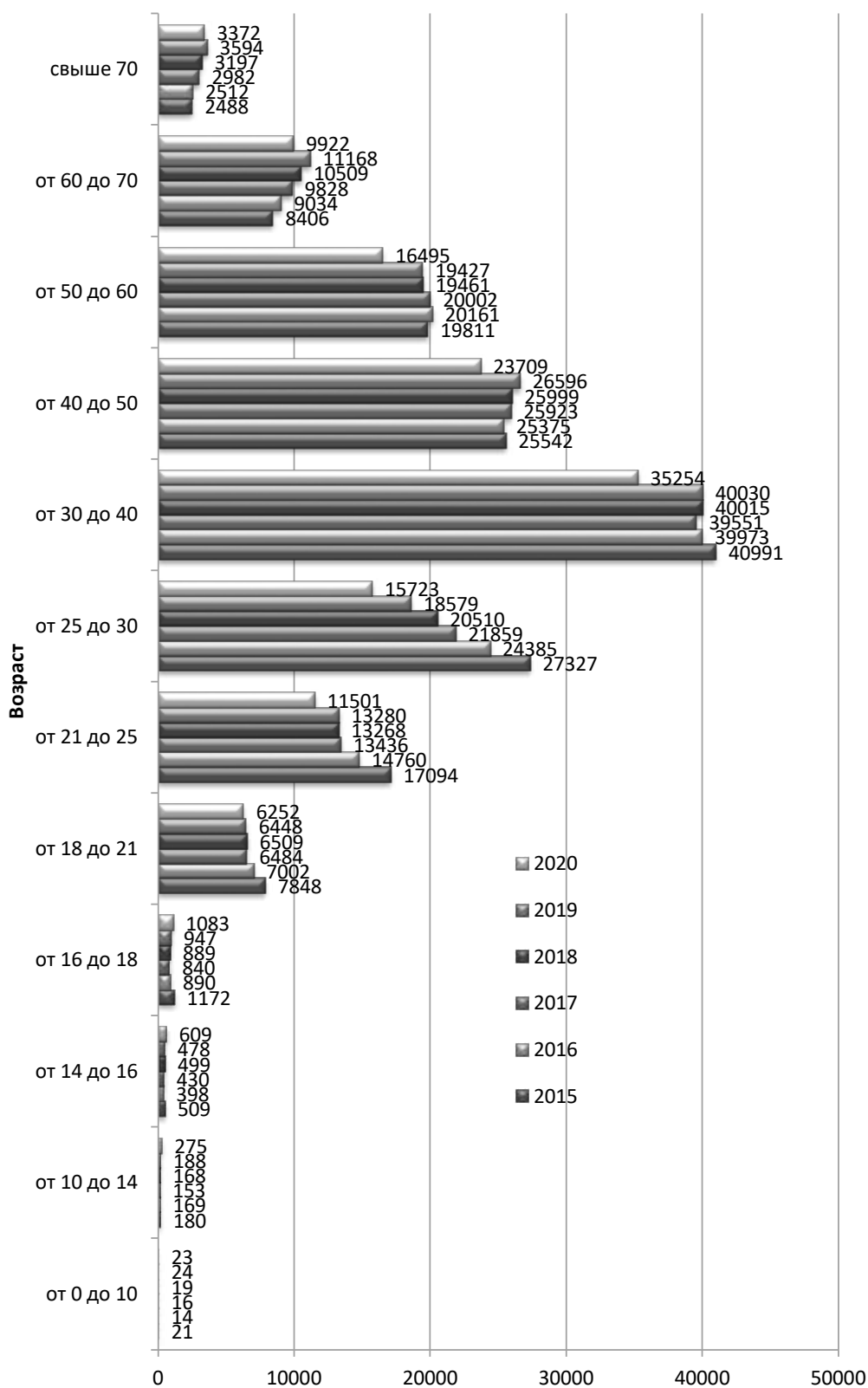


Рис. 1. Распределение водителей-виновников ДТП по возрасту за последние шесть лет в Российской Федерации (выполнено автором).



Рис. 2. Количество ДТП, где виновниками стали водители со стажем от 0 до 5 лет по г. Волжский (выполнено автором).

зовать свою жажду «острых ощущений» и самоуверенность» [3, с. 89; 7]. «Молодые люди могут вести себя более рискованно, чем взрослые. Они в большей мере подвержены влиянию своих, столь же склонных к риску, сверстников» [8; 9]. Хотя сами молодые водители и отрицают, что «сверстники влияют на безопасность движения» [8; 9], исследователями было замечено, что они обеспечивали «скрытое социальное одобрение небезопасному и рискованному вождению» [10; 11].

Именно поэтому ещё с 80-х годов прошлого века во многих странах действует «поэтапный допуск лиц к управлению транспортным средством» [3]. Например, такие правила давно действуют в Канаде и в США, в рамках которых предусмотрен постепенный доступ к получению полноценного водительского удостоверения для водителей-новичков, управляющих «автомобилем и двухколёсным механическим транспортом». Такие ограничения введены для снижения самой вероятности возникновения ДТП (которым «подвержены начинающие, неопытные водители» [3; 12]) за счёт периода стажировки, во время которого начинающий водитель проходит «специальный практический курс вождения под руководством наставника». Система получила название «периода стажировки с вручением права вождения под руководством наставника» [3; 12–15]. По завершении стажировки будущий водитель получает временное удостоверение, которое предусматривает определённые ограничения на управление автомобилем без наставника. Как правило, эти ограничения включают в себя «запрет на езду в тёмное время суток, ограничение на количество

пассажиров, которые могут находиться в автомобиле, а также запрет управлять автомобилем после употребления любого количества алкоголя, даже если правила предусматривают его допустимый уровень в крови или выдыхаемом воздухе». По мере приобретения молодыми водителями необходимого опыта и при достижении установленного возраста, все эти ограничения снимаются, и они получают полноценное удостоверение. Условия прохождения этих трёх этапов получения водительского удостоверения – ученического, временного и стандартного – различаются в разных странах, но везде они являются основой для создания благоприятной обстановки на то время, пока начинающие водители получают необходимый опыт. Вышеперечисленные меры давно доказали свою эффективность. Проведённые в Канаде, Новой Зеландии и в США исследования показали, что число аварий, совершаемых начинающими водителями, снизилось на 9–43 %. Поскольку повышенный уровень риска возникновения аварий у начинающих водителей наблюдается во всех странах, система поэтапного получения стандартного водительского удостоверения может значительно сократить этот риск [3, с. 128; 12–15].

Цель работы – определение процентной доли «склонных к риску водителей» [16; 17] в возрастной категории от 18 до 25 лет. Метод исследования – анкетирование, в результате которого было опрошено 200 молодых людей-студентов Волжского политехнического института (ВПИ (филиал) ВолгГТУ) и Волгоградского государственного технического университета (январь 2016 года–февраль 2020 года). Все участники на момент опроса имели водительское удостоверение и исполь-





Рис. 3. Общие результаты исследования склонности к риску среди водителей в возрасте 18–25 лет (выполнено автором).

зовали личный легковой автомобиль. Анкетирование было основано на тесте А. М. Шуберт «Склонность к риску» [16; 17].

РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе проведения анкетирования респондентам предлагалось ответить на следующие вопросы:

1. «Превысили бы Вы установленную скорость, чтобы быстрее оказать необходимую медицинскую помощь тяжелобольному человеку?»

2. «Согласились бы Вы ради хорошего заработка участвовать в опасной и длительной экспедиции?»

3. «Стали бы Вы на пути убегающего опасного взломщика?»

4. «Могли бы Вы ехать на подножке товарного вагона при скорости более 100 км/час?»

5. «Можете ли Вы на другой день после бессонной ночи нормально работать?»

6. «Стали бы Вы первым переходить очень холодную реку?»

7. «Одолжили бы Вы другу большую сумму денег, будучи не совсем уверенным, что он сможет Вам вернуть эти деньги?»

8. «Вошли бы Вы вместе с укротителем в клетку со львами при его заверении, что это безопасно?»

9. «Могли бы Вы под руководством извне залезть на высокую фабричную трубу?»

10. «Могли бы Вы без тренировки управлять парусной лодкой?»

11. «Рискнули бы Вы схватить за уздечку бегущую лошадь?»

12. «Могли бы Вы после десяти стаканов пива ехать на велосипеде?»

13. «Могли бы Вы совершить прыжок с парашютом?»

14. «Могли бы Вы при необходимости проехать без билета от Таллинна до Москвы?»

15. «Могли бы Вы совершить автотурне, если бы за рулем сидел Ваш знакомый, который совсем недавно был участником тяжелого дорожного происшествия?»

16. «Могли бы Вы с десятиметровой высоты прыгнуть на тент пожарной команды?»

17. «Могли бы Вы, чтобы избавиться от затяжной болезни с постельным режимом, пойти на опасную для жизни операцию?»

18. «Могли бы Вы спрыгнуть с подножки товарного поезда, движущегося со скоростью 50 км/час?»

19. «Могли бы Вы, в виде исключения, вместе с семьей другими людьми, подняться в лифте, рассчитанном только на шестерых?»

20. «Могли бы Вы за большое денежное вознаграждение перейти с завязанными глазами оживлённый уличный перекресток?»

21. «Взялись бы Вы за опасную для жизни работу, если бы за неё хорошо платили?»

22. «Могли бы Вы после десяти рюмок водки вычислить проценты?»

23. «Могли бы Вы по указанию начальника взяться за высоковольтный провод, если бы он заверил, что провод обесточен?»

24. «Могли бы Вы после некоторых предварительных объяснений управлять вертолётом?»

25. «Могли бы Вы, имея на руках билеты, но без денег и продуктов, доехать из Москвы до Хабаровска?»⁴

Тест предусматривает следующую градацию: «слишком осторожен, среднее значение, склонен к риску».

⁴ Методика диагностики степени готовности к риску Шуберт. [Электронный ресурс]: <https://psylist.net/praktikum/38.htm>. Доступ 12.03.2021.

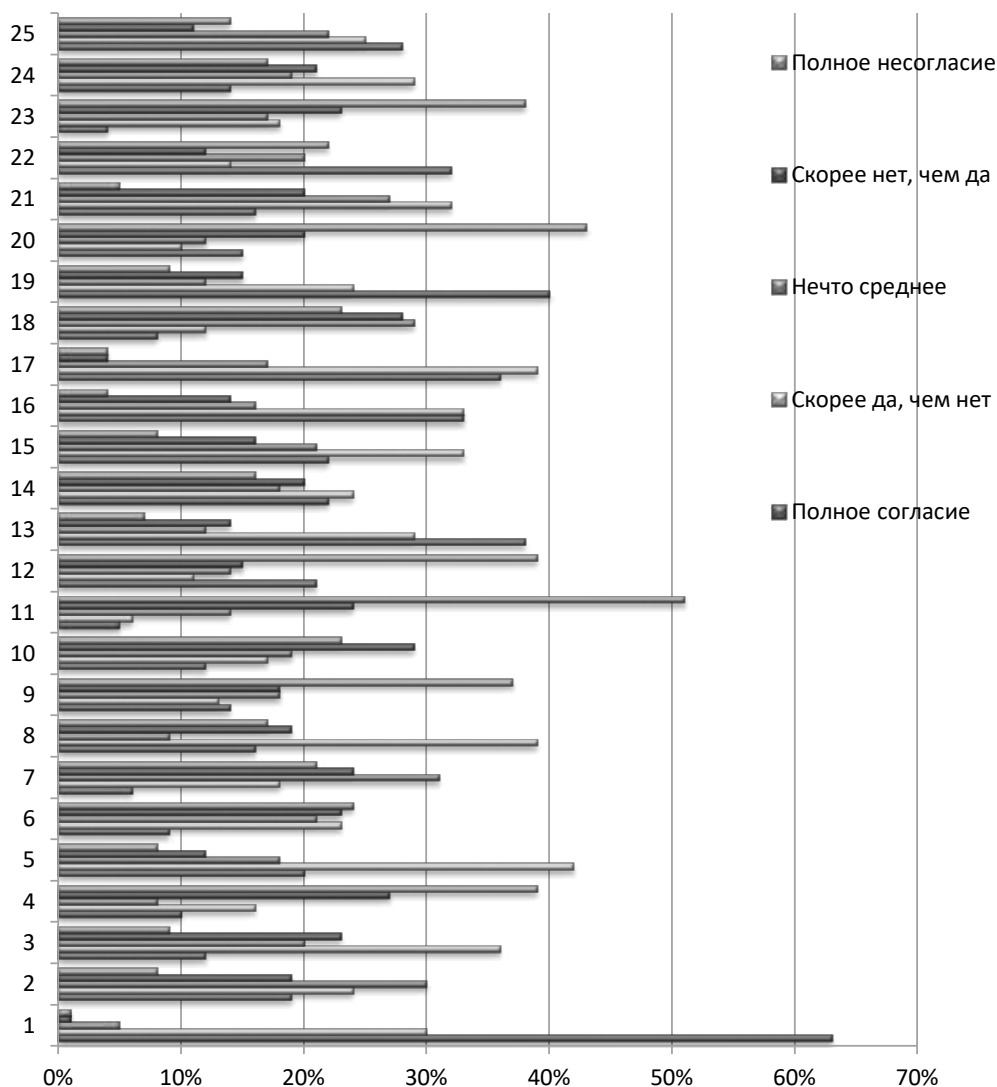


Рис. 4. Распределение ответов на вопросы теста (выполнено автором).

участников опроса (82 %) показали средний уровень «склонности к риску», но количество водителей, имеющих «высокую склонность к риску», достаточно велико (15 %) (рис. 3). Причём, все 15 %, «склонных к риску», входят в самую молодую группу от 18 до 21 года [18].

Интересно будет рассмотреть распределение ответов на каждый из вопросов, предложенных водителям. Согласно представленной диаграмме (рис. 4), распределение ответов достаточно равномерное, в 15 из 25 вопросов доля ответов «Скорее нет, чем да» и «Полное несогласие» не превышает 40 %.

Таким образом, полученные данные говорят, что количество склонных к риску моло-

дых водителей достаточно велико (15 %). Рискованное вождение, наряду с «распространённым в молодёжной среде представлением о своём превосходстве в работоспособности и скорости реакции, познаниях об автомобиле» [3; 12], становится причиной ДТП, в том числе с погибшими и ранеными.

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

С практической точки зрения в целях повышения дорожной безопасности и применительно к Российской Федерации можно отметить и предложить следующее.

Президент Российской Федерации утвердил ряд поручений по итогам расширенного заседания президиума Государственного совета,



состоявшегося 28 сентября 2020 года, «согласно которым в рамках реализации национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» показатель смертности в ДТП к 2024 г. должен составлять 8,4 на 100 тыс. населения, а к 2030 г. – 4 на 100 тыс. населения»⁵.

Для скорейшего достижения установленных показателей, учитывая представленные в работе результаты исследования, предлагаются следующие меры:

1. Проведение анализа психологических качеств обучающегося в автошколе с целью определения его приспособленности к участию в дорожном движении. По результатам такого анализа появится возможность сообщить будущему водителю о его потенциально опасных качествах и предложить возможные варианты их сдерживания и контроля.

2. Закрепление в Правилах дорожного движения некоторых ограничений на управление автомобилем для неопытных и молодых водителей. Необходимо установить ограничение на мощность автомобиля и допустимую скорость движения, посредством введения повышающего коэффициента для штрафов за превышение скорости; запрет на перевозку пассажиров до истечения определенного периода; езду в тёмное время суток, в сложных дорожных условиях.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Попов А. В. Дорожно-транспортные происшествия. Проблемы высокой аварийности в Российской Федерации: Монография; ВПИ (филиал) ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – Волгоград, 2020. – 273 с.
2. Global status report on road safety 2018. Geneva: World Health Organization, 2018. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. [Электронный ресурс]: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565684>. Доступ 10.03.2021.
3. Всемирный доклад о предупреждении дорожно-транспортного травматизма / Пер. с англ. – М.: Издательство «Весь Мир», 2004. – 280 с.
4. Besharati, M. M., Tavakoli Kashani, A. Factors contributing to intercity commercial bus drivers' crash involvement risk. Archives of Environmental & Occupational Health, 2017, Vol. 73, Iss. 4, pp. 243–250. DOI: 10.1080/19338244.2017.1306478.
5. Fergusson, D., Swain-Campbell, N., Horwood, J. Risky driving behaviour in young people: prevalence, personal characteristics and traffic accidents. Australian

and New Zealand Journal of Public Health, 2003, Vol. 27, Iss. 3, pp. 337–342. DOI: 10.1111/j.1467-842x.2003.tb00404.x.

6. Jonah, B. A. Accident risk and risk-taking behaviour among young drivers. Accident Analysis & Prevention, 1986, Vol. 18, Iss. 4, pp. 255–71. DOI: 10.1016/0001-4575(86)90041-2.

7. Williams, A. F. Teenage drivers: patterns of risk. Journal of Safety Research, 2003, Vol. 34, Iss. 1, pp. 5–15. DOI: 10.1016/S0022-4375(02)00075-0.

8. Gardner, M., Steinberg, L. Peer Influence on Risk Taking, Risk Preference, and Risky Decision Making in Adolescence and Adulthood: An Experimental Study. Developmental Psychology, 2005, Vol. 41 (4), pp. 625–635. DOI: 10.1037/0012-1649.41.4.625.

9. Steinberg, L. Risk taking in adolescence: What changes, and why? Annals of the New York Academy of Sciences, 2004, Vol. 1021 (1), pp. 51–58. DOI: 10.1196/annals.1308.005.

10. Hu, Tian-Yi; Xie, Xiaofei; Li, Jie. Negative or positive? The effect of emotion and mood on risky driving. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2013, Vol. 16, pp. 29–40. DOI: 10.1016/j.trf.2012.08.009.

11. Dula, C. S., Ballard, M. E. Development and Evaluation of a Measure of Dangerous, Aggressive, Negative Emotional, and Risky Driving. Journal of Applied Social Psychology, 2003, Vol. 33, Iss. 2, pp. 263–282. DOI: 10.1111/j.1559-1816.2003.tb01896.x.

12. Williams, A. F. An Assessment of Graduated Licensing Legislation. In: Proceedings of the 47th Association for the Advancement of Automotive Medicine (AAAM) conference, Lisbon, Portugal, 22–24 September 2003. Washington, DC, Annual proceedings / Association for the Advancement of Automotive Medicine. Association for the Advancement of Automotive Medicine, 2003, Vol. 47, pp. 533–535. [Электронный ресурс]: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3217529/>. Доступ 10.03.2021.

13. Williams, A. F., Fergusson, S. A. Rationale for graduated licensing and the risks it should address. Injury Prevention, 2002, Vol. 8, pp. 9–16. DOI: 10.1136/ip.8.suppl_2.ii9.

14. Shope, J. T., Molnar, L. J. Graduated driver licensing in the United States: evaluation results from the early programs. Journal of Safety Research, 2003, Vol. 34, Iss. 1, pp. 63–69. DOI: 10.1016/S0022-4375(02)00080-4.

15. West, R., Hall, J. The Role of Personality and Attitudes in Traffic Accident Risk. Applied Psychology, 2008, Vol. 46, Iss. 3, pp. 253–264. DOI: 10.1111/j.1464-0597.1997.tb01229.x.

16. Жирков Р. А., Кубдашева Н. К. Склонность к риску водителей // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Наземные транспортные системы. – 2012. – Т. 5. – № 2 (89). – С. 62–64. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17357332>. Доступ 10.03.2021.

17. Неклюдова В. В. Склонность к риску как фактор формирования модели поведения водителя // Проблемы современного педагогического образования. – 2017. – № 57–5. – С. 356–362. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30754180>. Доступ 10.03.2021.

18. Попов А. В., Гончаревич Д. В., Соколов Р. О. Проблемы молодёжной аварийности // Автотранспортное предприятие. – 2016. – № 5. – С. 14–17. ●

⁵ Расширенное заседание президиума Государственного совета. [Электронный ресурс]: <http://www.kremlin.ru/events/state-council/64105>. Доступ 10.03.2021.

Информация об авторе:

Попов Александр Владимирович – старший преподаватель кафедры автомобильного транспорта Волжского политехнического института (филиал) Волгоградского государственного технического университета, Волжский, Россия, alexandrus238@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 29.10.2020, одобрена после рецензирования 15.02.2021, принята к публикации 13.03.2021.



**125 ЛЕТ РОССИЙСКОМУ
УНИВЕРСИТЕТУ
ТРАНСПОРТА
(МИИТ) 104, 114**

Неразрывная связь образования и науки. Страницы истории через призму развития научных школ.

Математические знания для транспортников: славные имена учёных-преподавателей.



ОБРАЗОВАНИЕ И КАДРЫ





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ
УДК 930.85:625:627:656
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-19-3-11>

В авангарде транспортного образования и отраслевой науки России: к 125-летию Российского университета транспорта



Алексей ФЕДЯКИН



Сергей МЕДВЕДЕВ



Анастасия ТАНЦЕВОВА

Алексей Владимирович Федякин¹, Сергей Владимирович Медведев², Анастасия Владимировна Танцева³

^{1, 2, 3} Российский университет транспорта, Москва, Россия.

✉ ¹ avf2010@yandex.ru.

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена 125-летию со дня основания Российского университета транспорта (МИИТ), крупнейшего транспортного вуза России. За годы своего существования вуз прошел путь от инженерного училища до национального транспортного университета, ведущего центра науки и образования.

История университета рассмотрена сквозь призму становления и развития научных школ. В университете были созданы известные во всем мире научные школы: строительной механики и мостостроения, гидравлической теории

трения, мостостроения и сварки, строительной механики, проектирования и эксплуатации железных дорог, проектирования и тепловых расчетов паровозов и др.

За годы работы университет подготовил многие десятки тысяч высококвалифицированных специалистов для транспортной отрасли страны. Верность традициям, умение откликаться на запросы времени и работать на перспективу позволяют Российскому университету транспорта оставаться в рядах ведущих университетов России.

Ключевые слова: Российский университет транспорта, транспортная наука, научные школы, научно-образовательные центры, традиции и новации, подготовка кадров для транспортной отрасли.

Для цитирования: Федякин А. В., Медведев С. В., Танцева А. В. В авангарде транспортного образования и отраслевой науки России: к 125-летию Российского университета транспорта // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 3 (94). С. 104–113. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-11>.

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

Российский университет транспорта – университет с более чем вековой историей. За 125 лет вуз прошёл путь от инженерного училища до крупнейшего транспортного университета страны. Юбилей вуза – это ещё один повод вспомнить его историю, оценить прошлое, воздать должное заслугам его преподавателей и выпускников, осмыслить текущее развитие, наметить планы на будущее. За минувшие годы в университете был создан ряд научных школ мирового уровня, определивших направления развития транспортной отрасли и науки в стране.

ИМПЕРАТОРСКОЕ МОСКОВСКОЕ ИНЖЕНЕРНОЕ УЧИЛИЩЕ: НАЧАЛО ПУТИ

В конце XIX века в Российской империи активными темпами шло железнодорожное строительство, строилась крупнейшая железная дорога в мире – Транссибирская магистраль. Остро ощущалась нехватка инженеров, специалистов железнодорожного транспорта. Встал вопрос об открытии для этого нового большого учебного заведения транспортной отрасли, способного решать возникающие задачи. Идеологом образования Московского инженерного училища по праву считается выдающийся учёный, товарищ (заместитель) министра путей сообщения Николай Павлович Петров (1836–1920). Именно он, будучи председателем Русского технического общества, приложил немало усилий для расширения технического образования в России [1, с. 246].

23 мая (4 июня) 1896 года было учреждено Московское инженерное училище с трёхлетней программой обучения. На следующий день, 24 мая училище получило название Императорского Московского инженерного училища (ИМИУ). В 1912 году по предложению учебного отдела Министерства путей сообщения начал разрабатываться проект о преобразовании Императорского Московского инженерного училища в институт. Закон был подписан 13 июня 1913 года, и с 1 сентября 1913 года училище было преобразовано в Московский институт инженеров путей сообщения (МИИПС). 27 декабря 1913 года МИИПС было присвоено имя императора Николая II.

История вуза неразрывно связана с историей страны и с развитием транспортной науки. На всех исторических этапах жизнь

вуза была многогранна и насыщена. С момента своего основания вуз стал не только ведущим центром высшего железнодорожного образования, но и крупным научным центром. Здесь были созданы известные во всём мире научные школы: строительной механики и мостостроения (профессор Л. Д. Проскуряков), гидравлической теории трения (профессор Н. П. Петров), мостостроения и сварки (академики Е. О. Патон и Г. К. Евграфов), строительной механики (профессор И. П. Прокофьев), проектирования и эксплуатации железных дорог (академик В. Н. Образцов, член-корреспондент Академии наук СССР Б. Н. Веденисов), проектирования и тепловых расчётов паровозов (академик С. П. Сыромятников), динамики локомотивов (член-корреспондент АН СССР И. И. Николаев, профессор В. Б. Медель), тяги поездов и тяговых расчётов (профессор А. М. Бабицкий) и др.

Первые научные школы стали формироваться в училище ещё с созданием первых кафедр и лабораторий. Уже 1 марта 1898 года в ИМИУ были выделены средства на организацию первых лабораторий: химической, механической, гидравлической, физической, а также на создание геодезического кабинета [2, с. 531].

Школу строительной механики и мостостроения возглавил профессор Л. Д. Проскуряков, стоявший у основ отечественной науки о мостах. В мостостроении Л. Д. Проскуряков создал принципиально новые типы пролётных строений, со сквозной статически определимой решёткой. Лавр Дмитриевич проектировал самый длинный балочно-разрезной железнодорожный мост в России через р. Енисей, который стал единственным инженерным сооружением Транссиба, удостоенного Гран-при и Большой золотой медали Всемирной выставки в Париже (1900 год).

Л. Д. Проскуряков начал работать в ИМИУ с момента его открытия, с ноября 1896 г., в должности инспектора (проректора), заведующего кафедрой «Строительная механика и мосты». В период 1897–1898 учебного года в училище была открыта механическая лаборатория. Её бессменным заведующим до 1926 года был профессор Л. Д. Проскуряков. В лаборатории работали машинный зал, цементный зал, металлографический кабинет, холодильное отделение, механическая мастерская, деревообделочная мастерская и др. С самого основания лаборатория была обору-



дована рядом испытательных машин и приборов: «машина Мора и Федергафа, на 50 тонн, для испытания металлов, тросов, цепей, ремней на растяжение; пресс Амслера, на 150 тонн, для исследования явления изгиба (поперечного и продольного) и сжатия; пресс Амслера, на 25 тонн и 190 км, для изучения явлений растяжения и кручения металлов» и др. [2, с. 67].

В Механической лаборатории проводились занятия со студентами по исследованию различных свойств строительных материалов. С 1898 года Л. Д. Проскураков стал читать курс «Строительная механика», положив тем самым начало методики преподавания данной дисциплины. После 1917 года курс стал читаться на всех направлениях подготовки в инженерных вузах страны.

С момента открытия лаборатории проводились научные исследования по проблемам строительных материалов и строительной механики. Уже с начала 1920-х гг. Механическая лаборатория института выстроила тесные связи с транспортной отраслью страны, промышленностью и производством. В этот период расширилась и её научно-исследовательская база, была присоединена лаборатория строительных материалов Высших технических курсов НКПС [2, с. 71]. В середине 1920-х гг. при лаборатории был создан Учёный совет. В 1927 году Механическая лаборатория представила результаты своей работы на Международном конгрессе по испытанию материалов в Голландии.

С 1901 года кафедру «Мосты» возглавил Евгений Оскарович Патон. Проработавший в ИМИУ до 1904 года Е. О. Патон, впоследствии академик, получил международное признание как выдающийся учёный в области мостостроения и электросварки, стал создателем института электросварки, получившего его имя [3, с. 89]. После 1917 года преподаватели кафедры «Мосты» осуществляли научно-исследовательскую работу по секциям материалов и конструкций. Коллектив кафедры изучал сопротивление дерева скалыванию (руководитель – профессор Е. Л. Николаи), а также определял потери веса каменных опор в воде (руководитель – профессор Е. Е. Герсванов).

Значительным достижением в области технических наук стала разработка научно обоснованной теории проектирования железнодорожных станций и узлов [4, с. 92]. Про-

фильная кафедра «Станции и узлы» под руководством профессора В. Н. Образцова была создана в МИИПС в 1919 году. Сотрудники кафедры занимались практическими аспектами проектирования станций и узлов.

ЗА НОВЫЙ ВУЗ: МИИТ

В 1924 году распоряжением Наркомпроса РСФСР № 570 к Московскому институту инженеров путей сообщения были присоединены Высшие технические курсы при НКПС РСФСР. Объединённое высшее учебное заведение получило наименование – Московский институт инженеров транспорта (МИИТ). С этого времени учебное заведение стало многофакультетным и выпускало инженеров различных специальностей для железнодорожного, водного и автодорожного транспорта.

В этом же году в стенах МИИТ была создана кафедра «Изыскания и проектирование железных дорог». Руководителем кафедры был избран профессор К. А. Опенгейм, автор первого в стране четырёхтомного учебника по курсу проектирования железных дорог. Создание кафедры сыграло большую роль не только в деле подготовки инженерных кадров, но и в развитии научного проектирования железных дорог. На кафедре работали крупные учёные: профессор А. В. Горинев – разработал теорию овладения перевозками, профессор Б. Н. Веденисов – работал в области проектирования плана железных дорог [5, с. 95].

В 1920-е гг. в вузе продолжала активно развиваться и научная школа мостостроения. Большой вклад в её развитие внёс академик АН СССР Г. П. Передерий. Он предложил новую систему преподавания, при которой мост изучался как комплексное сооружение. Введение новой прогрессивной методики преподавания курса мостов способствовало утверждению и нового метода проектирования, что, в свою очередь, явилось мощным средством внедрения более рациональных систем мостов [5, с. 95].

Под руководством Н. С. Стрелецкого были организованы мостоиспытательные станции, которые приступили к систематическому изучению статического и динамического воздействия нагрузки на мосты. В 1930-е гг. в мостостроении стал применяться железобетон. Одним из первых инициаторов применения данного вида материала в мостострое-

нии был именно академик АН СССР Г. П. Передерий.

В ноябре 1925 года при МИИТ был открыт научно-исследовательский институт, один из первых в стране НИИ при высших технических учебных заведениях. Задачами его являлись научно-исследовательские работы в области транспорта и подготовка научных кадров для железнодорожных вузов. Возглавил институт профессор Ф. Е. Максименко. При НИИ была открыта аспирантура, что способствовало более интенсивной научной работе в области железнодорожной тематики. С 1926 года в МИИТ возобновили издание научных трудов института.

Уже к концу 1920-х гг. МИИТ становится ведущим центром подготовки инженерных кадров для железнодорожного транспорта в стране. За период 1918–1927 гг. МИИТ подготовил 1553 инженера, на 502 специалиста больше, чем за два дореволюционных десятилетия [4].

В 1930-е гг. вуз являлся кузницей кадров для транспорта и крупным научным центром. В 1930 году кафедру «Мосты и тоннели» возглавил Заслуженный деятель науки и техники РСФСР профессор Г. К. Евграфов. При его участии были созданы научные школы, получившие мировое признание: в области расчётов, проектирования и строительства мостов; в области исследования железобетонных и металлических мостов [6, с. 75]. В 1931–1934 гг. он руководил работами по выявлению новых типов мостовых конструкций, изучению работы мостов под нагрузкой, установлению нормативов строительства мостов [6, с. 106].

Продолжила развиваться и школа мостостроения. Учёные кафедры вели теоретические и экспериментальные исследования в области изучения мостовых конструкций. В 1930–1932 гг. по проекту выпускника МИИТ инженера Н. М. Колоколова был построен железнодорожный мост через Днепр в Днепропетровске [6, с. 103–104]. В этот же период стали строить и первые сварные мосты.

В 1932 году создана лаборатория механики грунтов, благодаря которой были успешно разрешены теоретические проблемы, а также практические аспекты, касающиеся постройки мощных гидроэлектрических станций и метрополитенов. Первый отечественный тоннельный щит был сконструирован под

руководством доцента МИИТ В. П. Волкова [7, с. 1]. Вклад в развитие теории инженерных задач в области механики грунтов, оснований сооружений и фундаментов внесли профессора Е. Е. Герсеванов и В. К. Дмоховский.

В 1934 году при кафедрах института были созданы первые научные кружки, объединённые позднее в студенческое научное общество. Это было время начала развития студенческой науки в МИИТ. Студенты института принимали непосредственное участие в строительстве Московского метро. В 1933 году были созданы факультет «Мостостроение» и выпускающая кафедра тоннелей и метрополитенов, которые за два года до пуска первой линии метро в Москве стали готовить специалистов для метрополитена [8, с. 35]. Под руководством первых выпускников МИИТ в Москве было сооружено 29 станции метро.

На кафедре «Станции и узлы» продолжали научные исследования академик В. Н. Образцов и профессор С. В. Земблинов. Изданный в 1933 году капитальный труд В. Н. Образцова «Железнодорожные станции» стал научной основой для целой серии учебников по дисциплине «Станции и узлы»: часть I – 1935 год (авторы – В. Н. Образцов, В. Д. Никитин, С. П. Бузанов), часть II – 1938 год (авторы – В. Н. Образцов, В. Д. Никитин, М. В. Сеньковский, Н. Р. Ющенко) и часть III – 1949 год (авторы – В. Н. Образцов, В. Д. Никитин, Ф. И. Шаульский, С. П. Бузанов) [9]. На кафедре магистральной темой исследований являлось «проектирование, технология функционирования и оптимизация работы транспортных систем». В 1938 году под руководством В. Н. Образцова была основана научная школа «Проектирование, технология функционирования и оптимизация работы транспортных систем». В 1939 году при кафедре была создана Секция по научной разработке проблем транспорта АН СССР под руководством академика В. Н. Образцова. Большой вклад в развитие науки о станциях внесли ученики академика В. Н. Образцова – доктора технических наук, профессора С. П. Бузанов, Ф. И. Шаульский, подготовившие большое число докторов и кандидатов технических наук. Успешно претворяли в жизнь идеи научной школы Образцова уже их ученики – доктора технических наук В. А. Шаров, А. Т. Осьминин, Б. Б. Жардемов и др. [10].



Активно велись научные исследования и на кафедре «Путь и путевое хозяйство» (с 1920 по 1930 гг. называлась «Рельсовый путь», в 1930 году переименована в «Железнодорожный путь», с 1950 года – «Путь и путевое хозяйство»). Профессора Н. Т. Митюшин, К. Н. Мищенко, Б. Н. Веденисов, Г. М. Шахунянец занимались исследованием условий работы пути при больших весах и высоких скоростях движения; применением бесстыкового пути и длинных рельсов; расчётами земляного полотна.

С началом Великой Отечественной войны из преподавателей кафедры «Железнодорожный путь» была составлена группа, которая работала при Центральном управлении пути НКПС и отвечала за создание проектов по восстановлению разрушенных мостов. Профессор И. Н. Поликарпов был направлен на Западный фронт, где работал над возведением разрушенных немецкими войсками мостов. С 1942 по 1943 год он занимал должность старшего эксперта по мостам в Главном управлении военно-восстановительных работ. Он предложил проекты металлических многорешетчатых ферм с поясами из двутавров, которые в дальнейшем стали использоваться при восстановлении мостов. С 1941 по 1942 год доцент А. М. Померанцев был командирован в головной восстановительный отряд № 8 Западного фронта, затем работал в проектной группе службы пути Западной железной дороги, где занимался проектированием капитального восстановления мостов железной дороги.

В 1941 году была создана комиссия по мобилизации ресурсов Урала и Западной Сибири, в состав которой вошёл и академик В. Н. Образцов. Под руководством Владимира Николаевича был выработан единый технологический процесс работы транспорта на подъездных путях оборонной промышленности, что сделало устойчивой работу заводов 11 железных дорог. Академик Образцов занимался также проблемой повышения объёма транспортировки грузов при минимальных финансовых вложениях. Он пришёл к выводу, что использование сдвоенных поездов, формирование пакетного движения, уменьшение времени по скрещиванию поездов на станциях, уменьшение простоя поездов на промежуточных пунктах путём выноса жезловых аппаратов на входные посты в совокупности могут способствовать повышению объёмов

перевозок. Указом Президиума Верховного Совета СССР от 30 июля 1949 г. профессора МИИТ академик В. Н. Образцов и член-корреспондент Академии наук СССР Б. Н. Веденисов были награждены орденом Ленина [11, с. 1].

С 1941 по 1943 год профессор МИИТ А. В. Горинов являлся руководителем Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта, на который возлагалась задача подготовки важнейших научных проектов, связанных с оборонным комплексом. В решении задач по обследованию мостов не только вновь построенных во время войны, но и восстановленных после разрушения принимал участие профессор Г. К. Евграфов. Он был назначен постоянным консультантом во Всесоюзном научно-исследовательском институте железнодорожного транспорта по разработке проектов восстановления мостов.

В годы Великой Отечественной войны научно-педагогический состав кафедры «Паровозы», во главе с её заведующим, академиком С. П. Сыромятниковым, разрабатывал методики увеличения экономичности паровозов. Академик Сыромятников создал новый паровоз 1–5–0, провёл комплексную модернизацию паровозов серий «Э» и «О», что позволило сократить расход топлива на железных дорогах страны [12, с. 54].

Под руководством профессоров Н. Т. Митюшина и Г. М. Шахунянца путейцы внесли значительный вклад, помогая работникам линии по увеличению пропускной способности, организации содержания и ремонту пути в сложных условиях военного времени. Профессор П. С. Дурново разработал и внедрил возможность проведения ремонтных работ стрелочных переводов наплавкой крестовин.

С 1945 года в МИИТ начинают организовываться дополнительные лаборатории – научная деятельность института переходит на новый уровень, увеличивается не только количество, но и значимость научных исследований.

26 декабря 1946 года МИИТ в честь своего 50-летия получил высшую государственную награду – орден Ленина.

В 1946 году в состав МИИТ была передана мостоиспытательная станция, которую преобразовали в мостоиспытательную лабораторию. На её базе вела научные исследования кафедра мостов. Работа осуществлялась

по двум направлениям: в области сборных железобетонных мостов преимущественно предварительно-напряжённых и в области применения сварки в мостостроении [5, с. 110].

В 1947 году при институте было организовано студенческое научно-техническое общество. Научным руководителем его стал доктор технических наук В. Д. Никитин [13, с. 12]. За первое послевоенное десятилетие на кафедрах института были выполнены 253 научно-исследовательские работы. Результаты исследований были направлены в управления Министерства путей сообщения СССР.

С 1946 по 1957 год преподавателями МИИТ был издан 61 учебник, опубликовано 420 статей, отдельных книг и монографий. Учебники использовались для подготовки кадров в Китайской Народной Республике и восточноевропейских странах. Научные труды докторов технических наук, профессоров А. М. Бабичкова, В. Н. Иванова, В. Г. Киркина, Н. П. Зобнина, А. Н. Егорова, Г. П. Гриневича, В. Д. Никитина, С. П. Бузанова, С. К. Данилова, Е. В. Михальцева, Ф. П. Кочнева, Н. А. Шадрина, А. В. Горинова, Г. М. Шахунянца, В. Г. Альбрехта и других получили научное признание в СССР [5, с. 99–100].

В послевоенный период в институте активно развивались научные исследования в области вагонов и вагонного хозяйства. Научным коллективом кафедры «Вагоны» были проведены исследования тележек вагонов с целью сокращения их веса (доцент Л. А. Шадрин), хребтовой балки вагона (доцент В. М. Чернышев), в области организации вагонного хозяйства (доцент В. Д. Бехтерев) [5, с. 97].

Со временем большое значение в научно-исследовательской работе института приобрели вопросы, связанные с широким переходом железнодорожного транспорта на электрическую тягу. С целью увеличения экономической эффективности электрификации железных дорог в 1947 году была создана лаборатория энергоснабжения железных дорог. В 1948 году на кафедре «Электрическая тяга», которая с 1930 года готовила электрофикаторов для железнодорожного транспорта, была организована передвижная исследовательская лаборатория «Динамометрический вагон».

В 1956 году в вузе была основана научная школа «Электротехнические комплексы и системы», которая развивалась в двух направлениях. Под руководством доктора технических наук, профессора, Заслуженного деятеля науки и техники РСФСР И. П. Исаева фундаментально изучались энергетические процессы взаимодействия подвижного состава и пути, обеспечение надёжности, оптимизация системы планово-предупредительных ремонтов. Под руководством профессора К. Г. Марквардта разрабатывались и совершенствовались системы, технические средства, методы повышения надёжности и эффективности устройств электроснабжения электрической тяги, внедрения комплексной автоматизации устройств электроснабжения и электроэнергетики. Учёные института внесли важные предложения по увеличению экономической эффективности системы электрической тяги на постоянном токе [14].

В 1950-х гг. сформировалась научная школа «Экономическая теория транспорта, оптимизация управления материальными потоками и затратами». Большой вклад в её становление и развитие внесли учёные МИИТ, профессора Е. Д. Хануков, А. С. Чудов, А. К. Шубников, Е. В. Михальцев и др. Новая научная школа разработала схематическое изложение нормальных направлений грузопотоков. Учёными были предоставлены исчерпывающие рекомендации по улучшению не только железнодорожной транспортной системы страны, но и других отраслей экономики. Предложения авторов были включены в Концепцию структурной реформы на железнодорожном транспорте.

В 1955 году МИИТ возглавил Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, профессор Ф. П. Кочнев, который руководил институтом четверть века. Известный учёный в области организации пассажирских и грузовых перевозок, Ф. П. Кочнев основал в МИИТ научную школу по организации пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте. Научная школа занималась разработкой и внедрением новых видов тяги, тяжеловесных поездов, развитием пропускной и провозной способности железных дорог. Впервые в СССР были разработаны научные принципы организации пассажирских перевозок, касающиеся выбора рациональной скорости движения пассажирских поездов и оптимизации их веса [14].





В этот период в институте преподавали и вели научную работу крупные советские учёные, в том числе четыре академика и 130 докторов и кандидатов наук [15]. Среди них – заслуженные деятели науки и техники РСФСР, доктора технических наук, профессора Г. М. Шахунянц, А. Е. Шейнин, А. М. Брылеев [16]. В 1966 г. за успехи в научно-исследовательской и конструкторской работе коллектив МИИТ был награждён дипломом ВДНХ СССР первой степени [17].

В 1960-е гг. в институте создавались новые научные центры и лаборатории. В 1963 году на кафедре «Математические и счётно-решающие приборы и устройства» (впоследствии кафедра ЭВМ) была организована лаборатория «Вычислительные и управляющие машины», в течение девяти лет являвшаяся Вычислительным центром МИИТ. В лабораториях кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство» (руководитель – профессор В. Д. Кузьмич), «Надёжность строительных машин» (руководитель – профессор Г. С. Загорский) были созданы уникальные автоматизированные измерительно-вычислительные и управляющие комплексы на базе управляющих ЭВМ «СМ-1634». К середине 1970-х гг. вычислительная техника разного уровня прочно вошла в научно-исследовательскую и учебную деятельность МИИТ [2, с. 180–182].

В 1960–1970-е гг. ведущей в СССР стала научная школа МИИТ в области динамики тягового привода колёсно-рельсового транспорта, которую возглавлял профессор И. В. Бирюков. Он основал и возглавил науч-

ную лабораторию «Моделирования динамики электроподвижного состава», а позднее – Научно-технический центр «Скоростной подвижной состав» при МИИТ.

В 1970-е гг. в институте широкое развитие получило студенческое научное творчество. В студенческом научном обществе (СНО), работающем ещё с 1934 года, широко велись научные исследования студентов. За успехи в научно-исследовательской и конструкторской работе студентов институт неоднократно награждался дипломами ВДНХ первой степени, а студенты – медалями [18; 19]. По итогам Всесоюзного смотра-конкурса в области научно-исследовательской работы студентов в 1972–1973 году МИИТ занял первое место по группе технических вузов и был награждён переходящим Красным Знаменем МВ и ССО СССР и ЦК ВЛКСМ [17]. За успехи, достигнутые в организации научно-исследовательской работы студентов, Совет по НИРС МИИТ был удостоен Почётного диплома МВ и ССО СССР, а ряд сотрудников – почётных дипломов [20].

К своему 80-летию юбилею МИИТ подготовил 70 тысяч специалистов для транспорта и других отраслей народного хозяйства. К 1976 году в институте подготовкой инженеров занимались 59 кафедр и 1130 преподавателей. По итогам Всесоюзного социалистического соревнования за повышение эффективности производства и качества работы, успешное выполнение народнохозяйственного плана в 1976, 1977 и 1978 годах вуз награждался переходящим Красным знаменем.

В 1970-е гг. в МИИТ при кафедре «Экономика и управление на транспорте» были созданы научные центры, занимающиеся технико-экономическими исследованиями на транспорте: «Центр информационных технологий в экономике и финансах», отраслевая лаборатория «Автоматизированные системы управления материально-техническим обеспечением». К 1976 году научно-исследовательский сектор МИИТ вырос в крупный научно-исследовательский институт, который разрабатывал до 500 научных тем и имел общий объём работ, достигающий 5 млн рублей в год [21, с. 4].

В этот период на кафедре «Энергоснабжение электрических железных дорог» велись исследования в области нового перспективного вида железнодорожного транспорта: наземного бесколёсного, высокоскоростного, на магнитном подвесе (ВСНТ), который должен был развивать скорость в 350–500 км/ч. В этих работах активное участие принимали профессор К. Г. Марквардт и А. В. Чичинадзе [22]. На кафедре «Автоматика и телемеханика» лабораторией «Автоматизированного управления движения поездов» велась научная работа на тему «Разработка системы телеуправления электровозом сдвоенных и тяжёловесных поездов для БАМ» [23]. Научный коллектив кафедры «Электрическая тяга» также уделял большое внимание работам по созданию подвижного состава, результаты научных исследований использовались проектировщиками и заводами-изготовителями подвижного состава для нужд Байкало-Амурской магистрали.

25 октября 1988 года на базе МИИТ было учреждено Учебно-методическое объединение (УМО), руководителем которого был назначен ректор МИИТ, профессор В. Г. Иноземцев. За большой вклад в учебно-методическую работу в 1992 году приказом Комитета по высшей школе МИИТ был признан базовым вузом Учебно-методического объединения вузов Российской Федерации по образованию в области железнодорожного транспорта и транспортного строительства.

Учитывая важность подготовки высококвалифицированных кадров для железнодорожного транспорта, приказом МПС от 26 января 1989 года на базе докторантуры и аспирантуры МИИТ был создан Отраслевой центр подготовки научно-педагогических и научных кадров. Первым руководителем

центра был назначен доктор технических наук, профессор Б. А. Лёвин. Отраслевой центр стал координировать деятельность вузов и НИИ железнодорожного транспорта по вопросам подготовки кадров высшей квалификации. При центре был создан постоянно действующий семинар заведующих аспирантурами вузов и НИИ транспортной отрасли.

С 1985 года ректором МИИТ был назначен В. Г. Иноземцев, выдающийся учёный в сфере железнодорожного транспорта, член-корреспондент РАН. Совместно с ОАО «Трансмаш» и фирмой «Кнорр-Бремзе» (Германия) он разработал тормозную систему 483КЕ, которая соответствовала стандартам российских и европейских железных дорог. Данная система получила сертификат Международного союза железных дорог и была разрешена к использованию на всех железных дорогах. Деятельность В. Г. Иноземцева на посту ректора МИИТ позволила пережить институту сложные времена перестройки и распада СССР, он возглавлял вуз до 1997 года [24].

К столетнему юбилею МИИТ стал кузницей квалифицированных кадров для сухопутных и водных путей сообщений России. В день юбилея института университетская газета «Инженер транспорта» писала: «...За свою почти вековую историю МИИТ подготовил более 100 тысяч инженеров и инженеров-экономистов для железнодорожного транспорта, транспорта и транспортного строительства. В составе университета 60 кафедр, среди которых – старейшие: «Мосты», «Строительные конструкции», «Строительная механика», «Путь и путевое хозяйство», «Гидравлика и водоснабжение» и другие. МИИТ крупный научно-исследовательский центр...» [25, с. 1].

В 1997 году МИИТ возглавил доктор технических наук, профессор Б. А. Лёвин. Он стал основателем в МИИТ научной школы «Организация производства на транспорте», основными направлениями исследований которой являются: закономерности и факторы комплексного развития материально-технической базы магистрального, городского и пригородного транспорта и т. д. [14].

В год 110-летнего юбилея МИИТ получил поздравление Президента Российской Федерации В. В. Путина. В поздравительной телеграмме отмечалось: «За прошедшие десятилетия МИИТ прошёл большой и славный



путь, стал одним из признанных лидеров отечественного высшего технического образования. Университет по праву может гордиться своим профессорско-преподавательским корпусом, многими поколениями выпускников, которые внесли весомый вклад в развитие отечественного транспортного комплекса, российской экономики в целом. Отрадно, что и сегодня верность замечательным традициям, стремление идти в ногу со временем и работать на перспективу помогают вашему вузу оставаться настоящей кузницей высококвалифицированных специалистов» [26].

В 2009 году в МИИТ был создан Научно-исследовательский институт транспорта и транспортного строительства. Целью новой структуры стало продвижение и поддержка научно-исследовательских проектов, выполняемых преподавателями и студентами института.

В декабре 2015 года Федеральное агентство железнодорожного транспорта издало приказ о переименовании вуза в «Московский государственный университет путей сообщения императора Николая II». Университету было возвращено его историческое название.

В 2016 году университет встречал свой 120-летний юбилей, являясь базовым центром научного сопровождения развития транспортного комплекса России. За более чем вековой период своего существования университет подготовил около 650 тысяч высококвалифицированных специалистов с высшим и средним профессиональным образованием, дал старт развитию десятка крупных научных школ в сфере транспортной науки [12, с. 56]. Вуз получил и международное признание, в 2016 году за значительный вклад в развитие железнодорожного транспорта Монголии был награжден орденом Полярной Звезды.

РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА

27 июня 2017 года Министерство транспорта Российской Федерации опубликовало распоряжение «Об утверждении устава федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта (МИИТ)», в соответствии с которым Московский государственный университет путей сообщения имени Николая II был переименован в «Российский университет транспорта». О создании университета нового типа на базе

МИИТ, писал в статье «Каким будет Российский транспортный университет» директор Административного департамента Минтранса К. А. Пашков: «В России единственный вуз – МИИТ – сохранил всю учебную цепочку от школы до академии последипломного образования..., создание РУТ на базе МИИТ – это исторически обусловленное и правильное решение: у нас нет вуза с более сильной научной базой, научными школами, инфраструктурой» [27 с. 9]. В феврале 2017 года Коллегия Министерства транспорта Российской Федерации приняла решение о создании на базе МИИТ современного научно-образовательного центра – Российского университета транспорта [28]. Российский университет транспорта стал крупнейшим отраслевым университетом страны, который осуществляет кадровое обеспечение и научное сопровождение развития транспортной отрасли России.

В 2017 году университет стал лауреатом Международной транспортной премии «Золотая колесница» в номинации «Достижения в области транспортной науки и образования». В 2018 году университет осуществлял научно-техническое сотрудничество со 172 вузами-партнёрами и организациями из 49 стран и впервые был включён в международный рейтинг: региональный рейтинг развивающихся стран Европы и Центральной Азии QS World University Rankings. В апреле 2018 года университет вошёл в число вузов, которые получили право разрабатывать и утверждать самостоятельно подготовленные образовательные стандарты по всем уровням высшего образования. В сентябре 2019 года Российский университет транспорта был включён в список 1200 лучших вузов мира по версии Московского международного рейтинга вузов «Три миссии университета» в интервальную группу 1001–1100 в мировом рейтинге и в интервальную группу 48–58 среди российских вузов. В 2019 году вуз получил автономный статус. В настоящее время университет выступает передовым межтранспортным и общетранспортным научно-образовательным центром. В стенах учебного заведения функционируют 24 научные школы; интеллектуальная собственность Российского университета транспорта представлена 62 действующими патентами Российской Федерации [29].

Ректор Российского университета транспорта А. А. Климов, выступая на заседании

президиума Союза ректоров с докладом, посвящённым перспективам развития транспортного образования, отметил основные направления научной и образовательной деятельности вуза: «...транспорт и транспортное строительство, логистика, цифровые технологии, экономика транспорта, интеллектуальные системы, высокоскоростное движение, транспортная безопасность и многое другое... Мы – единственный общетранспортный вуз в стране, и на нас возложена задача координации программ развития всей отрасли транспортного образования» [30].

За 125 лет Российский университет транспорта подготовил многие десятки тысяч высококвалифицированных специалистов для транспортной отрасли страны. Верность традициям, умение откликаться на веяния времени и работать на перспективу позволяют Российскому университету транспорта оставаться в рядах ведущих университетов России.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Люди русской науки. Очерки о выдающихся деятелях естествознания и техники / Под ред. И. В. Кузнецова. – М., 1965. – Т. 3. – 580 с.
2. МИИТ на рубеже веков / Под общ. ред. Б. И. Лёвина. – М.: МИИТ, 2002. – 641 с. [Электронный ресурс]: http://library.miit.ru/photo/rare_izdaniya/03-78004.pdf. Доступ 09.04.2021.
3. Лёвин Б. А. Традиции, проверенные временем // Наука и техника транспорта. – 2004. – № 2. – С. 88–94. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9285248>. Доступ 09.04.2021.
4. Наш первый выпуск // Инженер транспорта. – 1979. – № 13. – 25 мая.
5. Московский ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени Институт Инженеров железнодорожного транспорта имени И. В. Сталина за 40 лет Советской власти. – М., 1957. – 136 с.
6. За новый советский вуз // Инженер транспорта. – 1979. – № 22. – 19 октября.
7. МИИТ: 110 лет на службе отечеству / Под ред. Б. А. Лёвина. – М., 2006. – 328 с. [Электронный ресурс]: http://library.miit.ru/photo/rare_izdaniya/%D1%83%D1%87%D1%91%D0%BD%D1%8B%D0%B5%20%D0%BC%D0%B8%D0%B8%D1%82%D0%B0.pdf. Доступ 09.04.2021.
8. Факты и цифры // Сталинец. – 1949. – № 26. – 7 ноября.
9. Лёвин Б. А. «Минтовская» глава в истории Московского метрополитена // Метро и тоннели. – 2016. – № 2. – С. 35–36. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26023785>. Доступ 09.04.2021.
10. Кафедра «Железнодорожные станции и транспортные узлы». Сайт Российского университета транспорта. [Электронный ресурс]: <https://www.miit.ru/depts/51>. Доступ 09.04.2021.
11. Быть на высоте новых задач // Сталинец. – 1949. – № 16. – 1 сентября.
12. Лёвин Б. А. Четыре юбилея МИИТа // Транспортная стратегия – XXI век. – 2016. – № 33. – С. 52–59. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26540348>. Доступ 09.04.2021.
13. Справочник для поступающих в институт. – М., 1951. – 139 с.
14. Научные школы. Сайт Российского университета транспорта. [Электронный ресурс]: <https://www.miit.ru/science/scientific-schools>. Доступ 09.04.2021.
15. Ордена Ленина МИИТ имени И. В. Сталина // Сталинец. – 1950. – № 24. – 9 июня.
16. Крупнейший транспортный вуз страны // Инженер транспорта. – 1979. – № 14. – 1 июня.
17. Награды МИИТа // Инженер транспорта. – 1976. – № 22. – 24 сентября.
18. Крупнейший транспортный вуз страны // Инженер транспорта. – 1976. – № 7. – 18 марта.
19. Архивно-библиотечный фонд ВДНХ. [Электронный ресурс]: <https://arhiv.vdnh.ru/>. Доступ 25.05.2021.
20. Рубеж десятой пятилетки // Инженер транспорта. – 1976. – № 11. – 15 апреля.
21. Вступая в новый учебный год // Инженер транспорта. – 1976. – № 20. – 9 сентября.
22. Кафедры МИИТа транспорту. Исследования в области ВСНТ // Инженер транспорта. – 1979. – № 21. – 12 октября.
23. Распространять опыт московских железнодорожников // Инженер транспорта. – 1979. – № 22. – 19 октября.
24. Иноземцев Владимир Григорьевич. Сайт Российского университета транспорта. [Электронный ресурс]: <https://www.miit.ru/page/171556>. Доступ 09.04.2021.
25. Крупнейший транспортный вуз // Инженер транспорта. – 1996. – № 16–17 (2056–2057). – 7 июня.
26. Сайт Президента России. [Электронный ресурс]: <http://kremlin.ru/events/president/news/36338>. 26 сентября 2006. Доступ 09.04.2021.
27. Пашков К. А. Каким будет Российский транспортный университет // Государство и транспорт. – 2016. – № 4. – С. 7–10.
28. Путь длиной в 115 лет: от инженерного училища до крупнейшего университета России // Инженер транспорта. – 2016. – № 11 (802). – 21 сентября.
29. РУТ (МИИТ) сегодня. Сайт Российского университета транспорта. [Электронный ресурс]: <https://www.miit.ru/depts/51>. Доступ 09.04.2021.
30. Мы создаем движение. На наши вопросы отвечает ректор Российского университета транспорта (МИИТ) Александр Климов // Газета «Комсомольская правда». – 21 ноября 2019. Сайт газеты «Комсомольская правда». [Электронный ресурс]: <https://www.kp.ru/daily/27058/4125809/>. Доступ 09.04.2021. ●

Информация об авторах:

Федякин Алексей Владимирович – доктор политических наук, профессор, заведующий кафедрой истории Российского университета транспорта, Москва, Россия, avf2010@yandex.ru.

Медведев Сергей Владимирович – кандидат исторических наук, доцент, доцент кафедры истории Российского университета транспорта, Москва, Россия, spersansky1809@yandex.ru.

Танцева Анастасия Владимировна – кандидат исторических наук, доцент кафедры истории Российского университета транспорта, Москва, Россия, tantsevova@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 25.05.2021, одобрена после рецензирования 18.06.2021, принята к публикации 25.06.2021.





ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

УДК 51:51.7:372.8:37.06

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-12>

Между математикой, железной дорогой и литературой...



Ольга ПЛАТОНОВА



Лидия ПУГИНА

*Ольга Алексеевна Платонова¹,
Лидия Вячеславовна Пугина²*

*^{1, 2} Российский университет транспорта, Москва,
Россия.*

✉ ¹ platonova_o_a@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

В 2021 году Российскому университету транспорта (исторически известному как МИИТ – Московский институт инженеров транспорта) исполняется 125 лет. Кафедра «Высшая математика» существует с момента зарождения университета и имеет богатую историю.

Столь знаменательная дата позволяет коснуться некоторых наиболее важных с точки зрения авторов моментов истории этого российского высшего учебного заведения, а

также вспомнить имена некоторых учёных-математиков, профессоров университета, деятельность которых, несомненно, повлияла как на уровень подготовки отечественных инженеров-железнодорожников, так и на высокий статус самого учебного заведения.

Наряду с этим подчёркивается историческая преемственность ценности математических знаний для всех поколений студентов-транспортников, в том числе и будущих.

Ключевые слова: Российский университет транспорта, история транспорта, математика, транспорт, выдающиеся математики, высшее образование, Болеслав Млодзеевский, Елена Вентцель, Анатолий Мышкис, Фридрих Карпелевич.

Для цитирования: Платонова О. А., Пугина Л. В. Между математикой, железной дорогой и литературой... // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 3 (94). С. 114–122. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-12>.

*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.*

СОЗДАНИЕ УНИВЕРСИТЕТА И РОЛЬ МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК

В 1895 году на одном из заседаний Министерства путей сообщения России был поднят вопрос об открытии в Москве инженерного учебного заведения. В этот момент в стране был единственный, существовавший с 1809 года вуз, в котором готовились высококвалифицированные специалисты-путейцы – Петербургский Институт корпуса инженеров путей сообщения. Необходимость открытия нового учебного заведения была продиктована стремительным ростом в конце XIX века отечественной промышленности, развитием сети железных дорог и железнодорожного транспорта, строительством крупных железнодорожных магистралей.

Инициатором создания Московского инженерного училища ведомства путей сообщения был Николай Павлович Петров (1836–1920), занимавший в то время пост товарища министра и курировавший все учебные заведения, инженер по образованию, выпускник кадетского корпуса и Инженерной академии. Хотелось бы отметить, что Н. П. Петров участвовал в составлении Положения и Устава нового учебного заведения, а также в разработке Программы обучения в нём.

Императорское московское инженерное училище (ИМИУ) создавалось по образцу Royal Indian Engineering College (Cooper's Hill), выпускавшего в Англии по ускоренной программе технических специалистов для службы в Индии. Но уже в 1907 году в Училище был увеличен срок обучения и расширен курс теоретической подготовки студентов, а к 1912 году благодаря штату профессоров, трудившихся в стенах училища, программы обучения были расширены до уровня, который соответствовал образовательному стандарту Петербургского института инженеров путей сообщения. Последний, в свою очередь, был создан по образцу знаменитой французской Политехнической школы и имел статус военного учебного заведения. И также, как во французской Политехнической школе, во главу обучения в нём были положены математические науки.

По уровню теоретических знаний инженеры-путейцы являлись самыми образованными людьми в России, что свидетельствует о высоких требованиях, предъявляемых



Болеслав Корнелиевич Млодзеевский (1858–1923).

к теоретическим знаниям и о хорошей постановке преподавания в нём.

В 1913 году ИМИУ был преобразован в Московский институт инженеров транспорта.

Мы не ставим своей целью вспомнить всех деятелей просвещения, трудившихся в транспортном вузе с момента его открытия и до нынешнего времени. В рамках этой статьи это сделать невозможно. Поэтому остановимся на деятельности преподавателей математики, учёных с мировым именем, которые в разное время трудились в стенах университета.

БОЛЕСЛАВ МЛОДЗЕЕВСКИЙ

Начать хотелось бы с воспоминаний о Болеславе Корнелиевиче Млодзеевском – первом заведующем кафедрой математики в Инженерном училище.

Б. К. Млодзеевский родился в Москве 10 июля (28 июня по старому стилю) 1858 года в семье профессора частной патологии и терапии Московского университета Корнелия Яковлевича Млодзеевского (1818–1865). После смерти отца большую поддержку и помощь в воспитании детей – семилетнего Болеслава и пятилетнего Викентия (позднее ставшего известным медиком) их





матери Аделаиде Викентьевне оказал её брат, известный академик живописи, Кирилл Викентьевич Лемох.

Болеслав Млодзеевский окончил Московский университет в 1883 году, а уже в 1885 году он становится приват-доцентом университета.

В 1887 году в «Учёных записках Московского университета» было опубликовано его первое научное исследование – магистерская диссертация «Исследования об изгибании поверхностей». В этой работе помимо вывода общего уравнения изгиба – уравнения второго порядка, линейного относительно вторых производных от искомой функции и их дискриминанта – излагается теория дифференциальных инвариантов квадратичных форм. Теория эта более подробно была исследована и изложена в докторской диссертации «О многообразиях многих измерений», опубликованной в «Учёных записках Московского университета» в 1889 году.

Когда в 1896 году в Москве открылось Инженерное училище, принадлежащее ведомству путей сообщения, Болеслав Корнелиевич Млодзеевский добился права возглавить в нём кафедру математики (заметим, что на 50 преподавательских мест претендовало около 250 человек). Болеслав Корнелие-

вич со свойственной ему увлечённостью активно включился в работу в Училище. Его увлекла эта работа ещё и потому, что для него это был совершенно новый опыт. Ведь до этого момента Болеславу Корнелиевичу приходилось обучать лишь будущих учителей математики гимназий и реальных училищ (которых тогда готовили университеты).

При непосредственном участии Болеслава Корнелиевича были созданы первые учебные планы по математике и первые программы тех математических курсов, по которым обучались инженеры-путейцы.

Болеслав Корнелиевич Млодзеевский работал в ИМИУ до 1913 года. За эти 17 лет работы учёному удалось продвинуться вперёд не только в своих научных исследованиях, которые были связаны с изучением прикладных инженерных проблем, но и в теоретических вопросах. Естественно, большое внимание уделялось геометрическим дисциплинам. Следует отметить, что по учебникам по аналитической геометрии, написанным профессором, учились как будущие инженеры, так и математики-теоретики.

Разносторонность интересов, широта и глубина знаний и изящность изложения научных изысканий – качества, которыми всецело был наделён Б. К. Млодзеевский,

и благодаря которым его имя навсегда вошло в историю отечественной науки.

Новым видом образовательной деятельности в то время становится проведение спецкурсов. Именно Болеслав Млодзеевский в 1900-х годах первым подготовил и прочитал спецкурс – «Курс теории функций действительного переменного» и «Теория множеств». Позднее эти направления математики стали ведущими в мировой математической науке. Профессор являлся также организатором семинара по математике, в котором принимали участие не только студенты, но и преподаватели. Заседания таких семинаров были новой формой организации учёбы и самостоятельной работы студентов. Позднее такая форма научной работы студентов использовалась и в Московском университете, а со временем стала широко распространённой.

Научные интересы Б. К. Млодзеевского связаны в основном с дифференциальной геометрией. Более половины из 40 его научных работ, которые были опубликованы в различных изданиях того времени, связаны с геометрией, в частности с вопросами исследования изгиба поверхности.

Уход из Московского университета в 1913 году, известные события 1914–1917 годов тяжело отразились на душевном и физическом состоянии Болеслава Корнелиевича, а 1918–1919 годы принесли новые сложности, связанные с болезнью жены.

Основатель математической школы МИИТ, талантливый учёный и педагог скончался 18 января 1923 года на 65 году жизни. Похоронен он на Новодевичьем кладбище в Москве. Согласно постановлению правительства РСФСР, могила Б. К. Млодзеевского является памятником истории и архитектуры.

ЕЛЕНА ВЕНТЦЕЛЬ

Из истории отечественной науки и становления высшей школы известно, что женщинам в России в течение всего XIX и начала XX века получить высшее образование, заниматься преподавательской деятельностью, научными изысканиями было довольно сложно. Поэтому нам хочется в этой статье вспомнить женщину-математика Елену Сергеевну Вентцель, имя которой с гордостью вписано в историю нашего университета.



Елена Сергеевна Вентцель (1907–2002).

Елена Сергеевна Вентцель родилась 21 марта 1907 года в Ревеле (ныне Таллинн). Её отец – Сергей Фёдорович Долгинцев – был преподавателем математики, а мать Ольга Дмитриевна работала учительницей в начальной школе. В 1923 году Елена Сергеевна поступила на физико-математический факультет Петроградского университета. В то время здесь преподавали Г. М. Фихтенгольц, Б. Н. Делоне, Н. Н. Гернет, А. М. Журавский; И. М. Виноградов был её научным руководителем.

В 1929 году она получила университетский диплом математика с правом преподавания в средней и высшей школе и поступила на работу в «Остехбюро», откуда вскоре перешла работать в Военную академию.

В 1935 году Елена Сергеевна переехала вместе с мужем (преподавателем Артиллерийской академии Д. А. Вентцелем, будущим крупнейшим специалистом в теории артиллерийской стрельбы, автором учебников по баллистике) в Москву. Здесь её профессиональная деятельность была связана с Артиллерийским факультетом Военно-воздушной инженерной академии РККА (позднее ВВИА имени Н. Е. Жуковского).

С 1939 года Елена Сергеевна – ассистент, с 1940 – преподаватель, с 1947 – старший



преподаватель ВВИА. В 1944 году она защитила кандидатскую, а через десять лет – докторскую диссертации. С 1955 года Елена Сергеевна – профессор на кафедре воздушной стрельбы.

Научные интересы Е. С. Вентцель были сосредоточены на прикладных вопросах теории вероятностей, применении вероятностных методов в целях повышения точности воздушной стрельбы и бомбометания, совершенствования способов пристрелки авиационного вооружения. Надо отметить, что в это время в Советском Союзе и в США происходило формирование и бурное развитие математических дисциплин, объединённых названием «Исследование операций».

В 1961 году вышла монография «Основы теории боевой эффективности и исследования операций», которая была написана Е. С. Вентцель в соавторстве с рядом других учёных.

В 1968 году Елена Вентцель поступила на должность профессора на кафедру «Прикладная математика» в Московский институт инженеров железнодорожного транспорта, где проработала до 1987 года.

Большой отклик в инженерной среде нашли работы Е. С. Вентцель по исследованию операций, линейной оптимизации, динамическому программированию, теории игр, теории массового обслуживания и смежным вопросам.

В 1972 году была издана её книга «Исследование операций».

Е. С. Вентцель является автором ряда учебников, популярных и востребованных до сих пор не только в нашей стране, но и за рубежом: «Теория вероятностей», «Введение в исследование операций: задачи, принципы, методология», «Элементы теории игр», «Элементы динамического программирования».

Учебник по теории вероятностей был нарасхват не только в научных библиотеках, но и в обычных. Его искали все, кто хотел выиграть в «Спортлото», посчитать вероятность жизни на Марсе или встретить свою судьбу...

До сих пор, при изучении в нашем университете такой дисциплины, как теория вероятностей, используется книга «Теория вероятностей. Задачи и упражнения», написанная Е. С. Вентцель в соавторстве с Л. А. Овчаровым, а также «Теория вероят-

ностей и её инженерные приложения», и ряд других учебников. Е. С. Вентцель принадлежит более 130 научных трудов, общий объём которых составляет 3000 печатных листов.

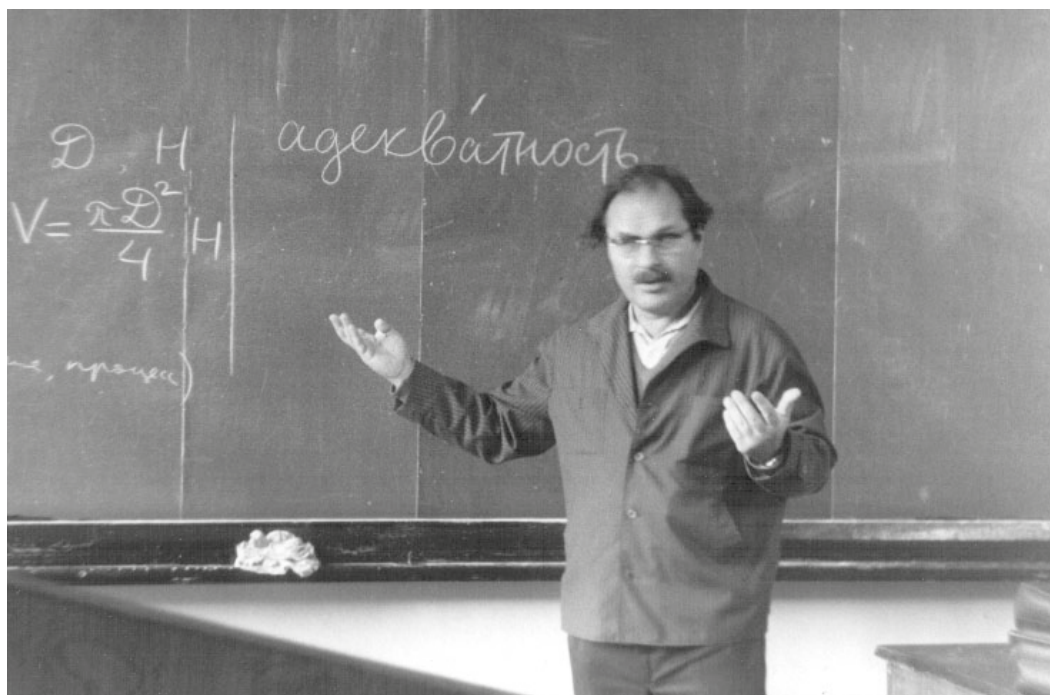
В тот период, когда Е. С. Вентцель работала в МИИТ, кафедра «Прикладная математика» представляла собой уникальный научно-педагогический коллектив, неформальный центр инженерного математического образования в Советском Союзе. Под руководством Е. С. Вентцель действовало Студенческое консультационное бюро (СКБ). Студенты-математики получали ценнейшие навыки прикладных исследований, а инженеры – реальную помощь в решении своих задач. Много сил и времени Е. С. Вентцель отдавала индивидуальной работе со студентами, считая, что этот вид деятельности является основой высшего образования. Целый ряд учеников Е. С. Вентцель, выпускников МИИТ, стали впоследствии авторами серьёзных научных трудов.

Биография учёного и педагога, Е. С. Вентцель, была бы неполной, если не упомянуть ещё одну сторону её деятельности. Уже в начале 1960-х годов появились сначала журнальные публикации, а в 1966 году вышел сборник рассказов «Под фонарём» за подписью И. Грековой (в псевдониме тоже не обошлось без математики – от названия буквы игрек). В 1966 году И. Грекова (Е. С. Вентцель) была принята в Союз писателей СССР.

В литературных произведениях И. Грекова описывала судьбы и характеры людей науки и техники, тревоги, печали и радости людей своего поколения, за что подвергалась разного рода порицаниям со стороны ряда сотрудников. Попытка избавиться от непокорного профессора привела к тому, что в 1968 году Е. С. Вентцель была вынуждена написать заявление об уходе из ВВИА.

Работая в нашем университете, Елена Сергеевна написала свою самую известную повесть «Кафедра» (1978 год), в которой отражены, в том числе и проблемы преподавания математики. К сожалению, эти проблемы волнуют наших коллег и сейчас.

По многим произведениям И. Грековой были написаны пьесы, поставлены спектакли (во МХАТе, театре Моссовета, Вильнюсском русском драмтеатре). Известен и любим фильм Станислава Говорухина «Благослови-те женщину», сценарий которого был напи-



Анатолий Дмитриевич Мышкис (1920–2009).

сан по пьесе И. Грековой «Хозяйка гостиницы».

15 апреля 2002 года Е. С. Вентцель ушла из жизни, оставив большое научное, педагогическое и творческое наследие.

АНАТОЛИЙ МЫШКИС

Среди студентов, которые в своё время учились у Елены Вентцель, находился и ещё один математик, о котором невозможно не упомянуть в данной статье, учёный мирового масштаба, профессор МИИТ Анатолий Дмитриевич Мышкис¹.

Авторам этой статьи особенно приятно вспоминать Анатолия Дмитриевича, поскольку на протяжении ряда лет мы бок о бок занимались преподавательской деятельностью на кафедре «Высшая математика» МИИТ.

Стол профессора Мышкиса сразу бросался в глаза входящему на кафедру человеку, поскольку на нём всегда лежала гора корреспонденции от всевозможных научных со-

обществ, иностранных коллег и учеников. Высокообразованный, интеллигентный, очень доброжелательный человек, мудрый советчик и наставник – таким запомнился нам Анатолий Дмитриевич.

Анатолий Дмитриевич Мышкис родился 13 апреля 1920 года в городе Спасске Рязанской области. С 1933 года проживал в Москве, где в 1937 году окончил школу и без экзаменов был зачислен на механико-математический факультет МГУ.

После начала Великой отечественной войны студенты мехмата были призваны для обучения в ВВИА, которая в то время дислоцировалась в Свердловске. Там Анатолий Мышкис учился на факультете авиационного вооружения, где практические занятия по теории вероятностей вела у него Е. С. Вентцель (позже они сотрудничали в стенах МИИТ).

Параллельно с учёбой в ВВИА в 1942 году Анатолий Дмитриевич обучался в аспирантуре МГУ (сначала заочно, а позже – очно). В 1946 году состоялась защита кандидатской диссертации. С 1947 года он преподавал в Риге во II Ленинградском Краснознаменном Высшем авиационно-инженерном военном училище и Латвийском госуниверситете. Позднее Анатолий Дми-

¹ Мышкис Анатолий Дмитриевич. – Википедия (wikipedia.org). [Электронный ресурс]: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D1%8B%D1%88%D0%BA%D0%B8%D1%81_%D0%90%D0%BD%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D0%B9_%D0%94%D0%BC%D0%B8%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D1%87. Доступ 25.06.2021.





МИИТ 1960–1970 годы.

триевич заведовал кафедрами в Белорусском госуниверситете, отделом Прикладной математики Физико-технического института низких температур АН УССР.

С 1974 года и вплоть до своей кончины в 2009 году Анатолий Дмитриевич Мышкис являлся профессором МИИТ.

Своими воспоминаниями о А. Д. Мышкисе и Е. С. Вентцель поделилась старейший педагог нашего университета – Галина Фёдоровна Канаева, которая более 50 лет (с 1960 по 2013 год) проработала в МИИТ на разных математических кафедрах под руководством заведующих: Ю. В. Руднева, Л. Е. Садовского, Ф. И. Карпелевича, Н. А. Панькина, Р. И. Григорчука, В. Б. Минасяна, О. А. Платоновой.

Галина Фёдоровна вспоминает:

«Анатолий Дмитриевич был настолько погружён в научную деятельность и исследовательскую работу, что в любой момент его можно было застать читающим либо книгу, либо журнальную статью. Даже на дачу, которую университет выделил для профессорской семьи, Анатолий Дмитриевич приезжал не часто, но с книгой. Вечером книга читалась, а утром он уезжал в Москву к письменному столу.

То, что Елена Вентцель и Анатолий Мышкис являлись выдающимися учёными, – вспоминает Галина Фёдоровна – сразу чувствовалось при общении с этими людьми молодой преподавательницей, какой я была в то время. Это были профессора, чей авторитет для меня был непререкаем». Вспомнила Галина Фёдоровна и о том, что Е. С. Вентцель проводила для математиков МИИТ

методические семинары, на которых делилась своим опытом чтения лекций. По воспоминаниям Галины Фёдоровны, сохранившей записи с указаниями Елены Сергеевны, она рекомендовала «делать лекцию не «сухой», а наполнять эмоциональной составляющей. Для того чтобы у студентов не было возможности отвлекаться от излагаемого лектором материала, Елена Сергеевна рекомендовала даже намеренно совершать ошибки при решении задач и следить за тем, чтобы студенты эти ошибки обнаруживали».

«Нам повезло, – в заключение говорит Галина Фёдоровна – ведь мы работали с Учёными с большой буквы».

Анатолий Дмитриевич Мышкис является автором более 330 научных статей, 70 методических публикаций (многие из которых написаны в соавторстве со своими коллегами), 14 статей в газетах и журналах, 19 книг, вышедших 50 изданиями на 10 языках, двух авторских свидетельств, был переводчиком и редактором 16 книг.

Анатолий Дмитриевич являлся официальным руководителем 36 защищённых кандидатских и 7 докторских диссертаций.

Основное направление научно-исследовательской деятельности А. Д. Мышкиса – это теория функционально-дифференциальных уравнений, где Мышкису принадлежит ряд основополагающих результатов. С 1950 года, когда Анатолий Дмитриевич защитил докторскую диссертацию, его научная деятельность была связана с актуальными вопросами и актуальными проблемами в области космонавтики, транспорта, техники. В последние годы Анатолий Мышкис с учениками занимались задачей Жуковского о трогании поезда. Учёные получили очень неожиданные результаты, которые можно отнести не только к этой задаче. Эти результаты во многом изменили классические представления о взаимосвязях дискретных и непрерывных моделей.

Вклад А. Д. Мышкиса в математику и методике преподавания математики неоценим. По его учебникам учились многие советские и российские инженеры, а научные работы переводились на разные языки и издавались во многих странах.

Он активно участвовал в работе Московского математического общества, где руководил секцией ВТУЗов, в работе математической секции Московского Дома Учёных.

А. Д. Мышкис являлся заслуженным работником высшей школы, почётным чле-

ном президиума Харьковского математического общества, почётным железнодорожником. Разносторонняя деятельность учёного была отмечена рядом правительственных наград.

Известный американский математик Джек Кеннет Хейл писал «А. Д. Мышкис ввёл общий класс уравнений с запаздывающим аргументом и заложил основы теории систем таких уравнений. Далекое не про каждого учёного, даже мирового уровня, можно сказать, что он является основателем принципиально нового направления в науке».

И действительно, наиболее значимым достижением Анатолия Дмитриевича, далеко не единственным, является построение теории функции дифференциальных уравнений – нового направления в теории дифференциальных уравнений.



Фридрих Израилевич Карпелевич (1927–2000).

ФРИДРИХ КАРПЕЛЕВИЧ

Ещё одним замечательным математиком, с которым довелось работать авторам статьи, был Фридрих Израилевич Карпелевич². Родился Фридрих Израилевич в 1927 году. Его юность пришлась на годы войны. Детство было трудным. В 14 лет он пришёл работать на завод фрезеровщиком. Однажды его пальцы попали в станок, и Фридрих Израилевич лишился части фаланг на нескольких пальцах. Но, несмотря на все трудности, в 1947 году он поступил в МГУ на механико-математический факультет. Уже в студенческие годы появляются его публикации, посвящённые проблеме описания множества всех возможных собственных значений стохастических матриц порядка n , поставленной Андреем Колмогоровым в 1938 году.

На четвёртом курсе он доказал теорему о каноническом вложении вещественной полупростой подалгебры Ли, на которую теперь ссылаются в учебниках.

Это доказательство вошло в дипломную работу Ф. И. Карпелевича.

В 1956 году Карпелевич был награждён премией Московского математического общества за цикл работ по алгебре.

² Карпелевич Фридрих Израилевич. – Википедия (wikipedia.org). [Электронный ресурс]: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D1%80%D0%BF%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D1%87_%D0%A4%D1%80%D0%B8%D0%B4%D1%80%D0%B8%D1%85_%D0%98%D0%B7%D1%80%D0%B0%D0%B8%D0%BB%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D1%87.
Доступ 25.06.2021.

В 1953 году профессор Петр Константинович Рашевский пригласил молодого учёного на свою кафедру «Высшей математики» в МИИТ.

Преподавателем Фридрих Израилевич был замечательным. Его лекции отличались продуманностью и точностью формулировок.

В 1962 году, совместно с С. Г. Гиндикиным, вычислил c -функцию как произведение B -функций, получив таким образом выражение для плотности в формуле Планшереля (формула Гиндикина–Карпелевича). Другим достижением в теории симметрических пространств стала «граница Карпелевича» – конструкция границы римановых симметрических пространств неположительной кривизны (1965 год).

С середины 1970-х годов Ф. И. Карпелевич стал активно заниматься задачами теории очередей. Особо стоит отметить цикл работ по многофазным системам массового обслуживания, выполненных совместно с А. Я. Крейниным, а также цикл работ по теории очередей, который был выполнен совместно с М. Я. Кельбертом и Ю. М. Суховым.

Его исследования по теории массового обслуживания имеют важнейшее значение, как теоретическое, так и практическое, для задач, связанных с организацией перевозок



и экономикой железнодорожного транспорта, широко известны в нашей стране и за рубежом.

Много лет Карпелевич поддерживал научные связи с St. John's колледжем в Кембридже (Англия). Его трижды приглашали в колледж для выполнения совместных исследований.

До конца своей жизни (2000 год) Фридрих Израилевич Карпелевич работал в нашем университете.

В 1965 году он организовал и возглавил кафедру «Прикладная математика», с 1970 по 1988 был заведующим кафедрой «Высшая математика», а затем в течение десяти лет руководил кафедрой «Прикладная математика-2».

Он являлся автором многих учебных пособий по теории массового обслуживания, по математическому программированию и многим другим разделам прикладной математики.

Список его научных публикаций насчитывает 83 работы. Из обширнейшего списка его публикаций и публикаций о нём можно приводить многочисленные примеры [11; 12].

Хотелось бы процитировать слова профессора Семёна Гиндикина о Карпелевиче: «Американское Математическое Общество опубликовало 2 тома, в которых коллеги отдают дань его памяти. Его результаты во многом определили современное состояние областей, в которых он работал, и продолжают жить. Многие в мире понимают глубину его достижений, но только те, кому довелось работать с ним, знают не менее важное обстоятельство: как органично сочетались в нём потрясающий талант с удивительными душевными качествами».

В заключение хочется отметить, что благодаря учёным, педагогам, трудившимся в стенах нашего университета, за время его 125-летнего существования была воспитана целая когорта учёных инженеров, инженеров-путейцев, силами и знаниями которых железнодорожный транспорт России разви-

вался и продолжает совершенствоваться в настоящее время.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пугина Л. В., Михалев Г. И. Аналитическая геометрия под аплодисменты // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16. – № 4 (77). – С. 248–252. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1510>. Доступ 25.06.2021.
2. Зверкина Г. А., Пугина Л. В. Геометрия пути // Мир транспорта. – 2009. – Т. 7. – № 2 (26). – С. 162–166. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12418603>. Доступ 25.06.2021.
3. Пугина Л. В. Чтобы не занять второстепенного положения // Мир транспорта. – 2013. – Т. 11. – № 3 (47). – С. 206–210. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/403>. Доступ 25.06.2021.
4. Мазикина Л. Благословите женщину Елену, или как пионерка советского программирования оказалась ещё и писательницей. [Электронный ресурс]: <https://www.goodhouse.ru/stars/zvezdnye-istorii/blagoslovite-zhenshchinu-elenu-ili-kak-pionerka-sovetskogo-programmirovaniya-okazalas-eshcho-i-pisatelnicey/>. Доступ 25.07.2021.
5. Виноградов В. В., Кочнева Л. Ф., Платонова О. А. О повышении качества математических знаний // Мир транспорта. – 2014. – № 4. – С. 142–147. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/127>. Доступ 25.06.2021.
6. Дынкин Е. Б., Гельфанд И. М., Гиндикин, С. Г. и др. Фридрих Израилевич Карпелевич (некролог). [Электронный ресурс]: DOI: <https://doi.org/10.4213/rm359>.
7. МИИТ: 110 лет на службе Отечеству / Под ред. Б. А. Лёвина. – М.: МИИТ, 2006. – 328 с.
8. Цубербиллер О. Н. Болеслав Корнелиевич Млодзеевский / Отчёт Московского Университета за 1923 год. – М., 1924. – С. 257–274.
9. Гушель Р. З. Б. К. Млодзеевский и среднее математическое образование в России в конце XIX–начале XX века // Труды VII международных Колмогоровских чтений. Сб. научных статей. – Ярославль: Изд-во ЯГПУ, 2009. – С. 413–421. [Электронный ресурс]: https://www.mathedu.ru/text/trudy_7_kolmogorovskih_chteniy_2009/p413/. Доступ 25.06.2021.
10. Васильева Р. И. Фридрих Израилевич Карпелевич. [Электронный ресурс]: <https://studylib.ru/doc/945414/biografiya-professora-f.i.-karpelevicha>. Доступ 25.06.2021.
11. Karpelevich, F. I., Sukhov, Yu. M. On the boundedness of nonhomogeneous branching diffusion on the line. Dokl. Akad. Nauk, 1996, Vol. 349:4, pp. 449–450. [Электронный ресурс]: http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=dan&paperid=4049&option_lang=eng. Доступ 25.06.2021.
12. Kreinin, A., Suhov, Yu. Karpelevich's Contribution to Applied Probability. American Mathematical Society. Advances in the Mathematical Sciences, 2002, Vol. 207, pp. 1–24. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/233863775_KARPELEVICH'S_CONTRIBUTION_TO_APPLIED_PROBABILITY/citation/download. Доступ 25.06.2021. ●

Информация об авторах:

Платонова Ольга Алексеевна – кандидат физико-математических наук, доцент Российского университета транспорта, Москва, Россия, platonova_o_a@mail.ru.

Пугина Лидия Вячеславовна – кандидат физико-математических наук, доцент Российского университета транспорта, Москва, Россия, pugina_lidia@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 08.06.2021, одобрена после рецензирования и принята к публикации 09.07.2021.

TV



ГАЛЕРЕЯ ИМЁН

124

Академик В. Н. Образцов и Европейский Север России. Проекты развития транспорта в послевоенный период. Научный и исторический анализ.



КОЛЕСО ИСТОРИИ



ПРЕСС-АРХИВ

133

Ремесленные курсы и технические училища. Как готовили железнодорожников 110 лет назад.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ
УДК 94:001.8:656(470.1/2) «1945/1949»
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-13>

Послевоенные проекты академика В. Н. Образцова по развитию транспорта на Европейском Севере СССР



Лариса РОЩЕВСКАЯ



Михаил РОЩЕВСКИЙ

*Лариса Павловна Рощевская¹,
Михаил Павлович Рощевский²*

¹ Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук», Сыктывкар, Россия,

² Институт языка, литературы и истории Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук», Сыктывкар, Россия.

✉ ¹ lp38rosh@gmail.com.

АННОТАЦИЯ

В 2024 году будут отмечать трёхсотлетие Российской академии наук. В связи с этим возрастает необходимость осмысления вклада советских учёных в восстановление экономики страны после Великой Отечественной войны. В 2021 году отмечается 125-летие Российского университета транспорта, в котором работал академик В. Н. Образцов. Особую важность для развития транспортной системы России представляет научное осмысление путей развития Севера страны. В силу всех этих факторов актуальной представляется цель статьи – проанализировать проекты развития транспорта на Европейском Севере СССР, выдвинутые академиком В. Н. Образцовым в послевоенный период.

Для достижения поставленной цели использованы системно-структурный и историко-сравнительный методы.

Впервые проанализирована деятельность В. Н. Образцова как аналитика и эксперта в области развития послевоенного железнодорожного транспорта. Сделаны выводы,

что обладая талантом крупного руководителя транспортных проектов, Образцов выдвигал научно-исследовательские задачи, адекватные требованиям времени по восстановлению экономики страны после войны. Одной из таких задач он считал модернизационное развитие транспорта. В проектах 1945 года Образцов заложил основы перспективного планирования железнодорожного, автомобильного, речного и авиационного транспорта на Европейском Севере СССР на несколько десятилетий вперед. Объемы предполагаемого строительства были огромными. Несмотря на то, что задуманное масштабное проектирование транспортной инфраструктуры было не вполне реально для выполнения в короткие сроки в силу ограниченных сил и ресурсов страны, оно поражает далеко идущими перспективами освоения территории Европейского Севера и Арктики. Программы академика Образцова по освоению севера, являясь большой научной ценностью, особенно актуальны в XXI веке.

Ключевые слова: транспорт, история, Российская академия наук, Академия наук СССР, База АН СССР в Коми АССР, проектирование транспортной инфраструктуры, Северо-Печорская железная дорога, академик В. Н. Образцов.

Для цитирования: Рощевская Л. П., Рощевский М. П. Послевоенные проекты академика В. Н. Образцова развития транспорта на Европейском Севере СССР // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 3 (94). С. 124–132. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-13>.

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 истории отечественной и мировой науки приближается важная дата: трехсотлетие Российской академии наук в 2024 году. В связи с этим возрастает необходимость выявления и осмысления вклада советских учёных в восстановление экономики страны после Великой Отечественной войны. Научные открытия обеспечиваются многими факторами, в том числе расположением научных подразделений АН СССР по всей территории страны. Одним из таких подразделений является Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр Уральского Отделения РАН» (ФИЦ «Коми НЦ УрО РАН»), отметивший в 2019 году 75 лет своей деятельности. История центра связана с началом Великой Отечественной войны, когда были эвакуированы академические учреждения из Архангельска и Кировска (Мурманская обл.). На их основе 30 сентября 1941 года была создана База АН СССР по изучению Севера в г. Сыктывкар Коми АССР во главе с академиком А. Е. Ферсманом. В июне 1944 года в связи с реэвакуацией части сотрудников на прежние места работы базу преобразовали в Базу АН СССР в Коми АССР. Её директором в 1944–1948 году был академик Владимир Николаевич Образцов.

НОВИЗНА

Предстоящий юбилей побуждает проанализировать проектную деятельность академика Образцова как аналитика, эксперта и директора Базы АН СССР в Коми АССР в 1945 году в области развития послевоенного железнодорожного транспорта. В предлагаемой статье введены в научный оборот две публикации по докладам на научных конференциях и текст научно-просветительской лекции В. Н. Образцова.

МЕТОДОЛОГИЯ

Для раскрытия темы использованы системно-структурный и историко-сравнительный *методы*. Системно-структурный метод требует вычленения элементов, которые входят в систему, а также анализа характера отношений между элементами, изучение взаимодействия с внешней средой. Историко-сравнительный метод позволяет проводить сравнение в пространстве и времени. Жанр статьи определил биографический принцип как ключевой для данной работы.

Внутренняя периодизация определяется чётко обозначенной датой – окончанием Великой Отечественной войны.

ИСТОРИОГРАФИЯ

Для освоения Севера в XX веке важнейшее значение имели Северный морской путь, развитие речного транспорта и строительство железных дорог. Но до 1930-х годов советское государство не было готово к масштабному освоению Севера. Новационная концепция развития советского Севера принадлежит экономисту С. В. Славину, который акцентировал внимание на необходимости создания на Севере и в Сибири благоприятной среды для населения, в том числе на строительстве железных дорог (Славин, 1961 [1]). Пониманию вклада В. Н. Образцова в развитие железнодорожного транспорта содействуют исследования по истории индустриализации и обеспечения крупнейших стратегических операций в годы Великой Отечественной войны (Ковалев, 1981 [2]).

В региональной литературе уделяют достаточное внимание железнодорожным проектам (Калеменева, 2018 [3]; Киселенко, 2014 [4]; Куратова, 2010 [5]; Куратова, Рощевский и др., 2001 [6]), но преобладает краткая биографическая информация в справочных изданиях (Ванеев, 1999 [7, с. 349]; Силин, 2000 [8]). Некоторые авторы считали В. Н. Образцова «засекреченным учёным» (Сивкова, 2017 [9]), другие для характеристики особенностей работы В. Н. Образцова в Сыктывкаре использовали понятие «дистанционное управление» (Самарин, 2006 [10]). Тем не менее, в литературе до сих пор отсутствует характеристика послевоенных проектов В. Н. Образцова о развитии транспорта на Европейском Севере.

Источники по выбранной теме имеются в нескольких архивах. Личный архивный фонд учёного отложился в Архиве РАН (научные труды, переписка, документы, относящиеся к поездкам в Сыктывкар и пр.). В Республике Коми документы В. Н. Образцова отложились в двух архивах. В Национальном архиве Республики Коми его документы имеются в фондах Совета Министров Коми АССР и Коми обкома ВКП(б) (докладные записки, справки и отчёты о работе Базы АН СССР в Коми АССР). В Научном архиве ФИЦ «Коми НЦ УрО РАН» имеются



протоколы заседаний с участием В. Н. Образцова, машинописная копия его доклада «Ближайшие перспективы развития транспорта в СССР» на собрании партактива г. Сыктывкара (1945 год), текст которого в 1970-х годах был передан в Архив АН СССР; отчёт о работе в 1946 году.

К опубликованным источникам относится несколько сотен трудов академика, однако полный их список не установлен. Накануне избрания в члены АН СССР в 1939 году Владимир Николаевич составлял такой список, но ему не удалось восстановить точные выходные данные многих публикаций. В 1944 году в АН СССР подготовили библиографию его трудов, но в неё не вошли публикации последних лет его жизни (Владимир Николаевич Образцов, 1944 [11]). В газетах Коми АССР также были опубликованы статьи Образцова, что доказывается просьбой сотрудника Совета филиалов и баз АН СССР в сентябре 1945 года выслать «номера республиканских газет (на русском и коми языках) с его статьями» (НА Коми НЦ УрО РАН. Ф. 1. Оп. 19. Д. 40. Л. 1). Выявить их пока не удалось. Ещё одну группу источников составляют публикации в газете «За новый Север»: обзор деятельности академика как директора Базы АН СССР в Коми АССР (Шишкин, 1949 [12]) и некролог (Образцов Владимир Николаевич, 1949 [13]).

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В совокупности выявленные источники позволяют выяснить, какие проекты перспективного развития транспорта на Европейском Севере СССР выдвигал академик В. Н. Образцов в послевоенный период.

КРАТКАЯ БИОГРАФИЯ В. Н. ОБРАЗЦОВА

Не останавливаясь подробно на биографии, выделим наиболее значимые события жизни Образцова до Сыктывкара. Владимир Николаевич (6 (18) июня 1874, Николаев – 28 ноября 1949, Москва) окончил Петербургский институт инженеров путей сообщения (1897), ещё до революции 1917 году приобрёл авторитет крупного специалиста в области проектирования и работы железнодорожных станций, участвовал в строительстве новых линий и участков Московско-Курской и Московско-Ярославской железных дорог. Позже Образцов, став доктором технических наук (1934, без защиты диссертации) и За-

служенным деятелем науки и техники РСФСР (1935), избран академиком АН СССР (1939). Стал лауреатом Сталинских премий в 1942 и в 1943 годах.

В 1935 году Владимир Николаевич возглавил Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта Народного комиссариата путей сообщения СССР, где занимался переустройством всех железнодорожных узлов и развязок в Москве. Его идея радиального размещения железных дорог по территории столицы с переходами к станциям метро вошла в первый генеральный план реконструкции столицы. По его рекомендациям переустроили Нижегородский, Саратовский, Ленинградский, Запорожский железнодорожные узлы, реконструировали транспортные развязки Кузнецкого и Донецкого угольных бассейнов. Он был членом технического совета Днепростроя и проектировал «Уралмашзавод». Образцов являлся членом Госплана СССР, с 1939 года – председателем секции по научной разработке проблем транспорта АН СССР и заместителем председателя Совета филиалов и баз АН СССР (1942–1949). Учёный награжден орденами Ленина (1935, 1944, 1949), Трудового Красного Знамени (1939), Отечественной войны 1 степени (1945), медалью «За оборону Москвы» (1945). Имел персональное звание генерал-директора движения первого ранга.

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В ЭВАКУАЦИИ НА УРАЛЕ

В 1942 году Владимир Образцов вместе с Президиумом академии был эвакуирован в Свердловск и вошел в академическую комиссию по мобилизации ресурсов Урала для обороны страны. Одним из направлений деятельности комиссии была разработка мероприятий, связанных с развитием и реконструкцией железнодорожного транспорта Урала (Байков, Грицке, 1942 [14]). В. Н. Образцов оперативно изучил специфику работы железных дорог Урала и выдвинул на первый план их кардинальную перестройку (Образцов, 1943 [15]), чтобы добиться упорядоченной эвакуации предприятий и людских потоков в восточные районы и дальних перевозок угля из Кузбасса на предприятия Урала.

Одним из самых напряженных транспортных узлов Урала был Тагильский промышленный район. По некоторым данным,

в начале войны в Нижний Тагил прибыло свыше десяти тысяч вагонов эвакуированного оборудования и населения, оперативно разгрузить которые оказалось невозможно. С этой гигантской железнодорожной пробкой связана и история нашей семьи, эвакуированной из Курска в с. Лая под Нижним Тагилом. Наш отец Павел Рощевский в это время служил в Курском военном госпитале № 1932, двигавшемся в эвакуацию на Урал. Состав с ранеными бойцами в Нижнем Тагиле стоял так долго, что отец, получив увольнение, добрался до с. Лая и провел с семьей несколько часов. Когда он вернулся в Тагил, эшелон всё ещё ожидал дальнейшей отправки. Он вспоминал об этом в 1944 году: «Из Курска меня судьба, а точнее военная служба, занесла далеко, сначала на Урал, где я был с Курским госпиталем. Там на Урале совершенно неожиданно я встретил свою семью, о судьбе которой я не знал несколько месяцев. Надо же случаю меня направить как раз в ту сторону, где была семья. Встреча была неожиданной и радостной» (ГАС-ПИТО, Ф. 4060, Оп. 1, Д. 2, Л. 25).

Изучение транспортного обеспечения Тагильского промышленного района очевидно показало перегрузку железной дороги. Под руководством В. Н. Образцова были рассчитаны внутриузловые и магистральные грузопотоки, определен порядок работы около 20 станций. Он предложил срочно построить небольшую рельсовую вставку до линии на Нижний Тагил, чтобы поезда от Нижнего Тагила могли без затруднений покидать перегруженный участок. За работу «О развитии народного хозяйства Урала в условиях войны» В. Н. Образцов был в 1942 году удостоен Сталинской премии первой степени.

Назначение В. Н. Образцова в Сыктывкар было вызвано не только болезнью академика А. Е. Ферсмана. Ситуацию определяла заинтересованность руководства Коми АССР в консультациях, связанных с вводом в эксплуатацию стратегической Северо-Печорской железной дороги, по которой в центр страны и Ленинград поступали уголь и нефть. Недаром Совет Министров Коми АССР в 1943 году вёл переписку с В. Н. Образцовым по научно-организационным вопросам.

21 декабря 1944 года Президиум АН СССР назначил В. Н. Образцова директором Базы АН СССР в Коми АССР. Но условия военно-

го времени складывались таким образом, что Образцов из-за громадного объёма выполняемой работы в структуре АН СССР не мог находиться в Сыктывкаре постоянно.

Приезд Владимира Николаевича в Коми АССР в августе 1945 года был организован в связи с правительственным решением торжественно отметить 220-летие АН СССР (НА Коми НЦ УрО РАН, Ф. 1, Оп. 1, Д. 123, Л. 8). В Сыктывкаре 24 августа состоялось юбилейное заседание учёного совета, как отмечено в протоколе, «в присутствии В. Н. Образцова» (НА Коми НЦ УрО РАН, Ф. 1, Оп. 1, Д. 110, Л. 6, 15). Несколько сотрудников Базы АН в Коми АССР наградили почётными грамотами Президиума АН СССР «за хорошую добросовестную научную работу, аккуратное и честное выполнение различных производственных заданий» (Рощевская, Бровина, 2009 [16]). Повестка дня учёного совета включала обсуждение итогов деятельности и проблемно-тематический план работ базы на 1946 год. Из других документов Научного архива Коми НЦ УрО РАН видно, что несколько сотрудников, «пользуясь присутствием на Базе» директора, просили освободить от занимаемой должности, ссылаясь на бытовую неустроенность и отсутствие в библиотеках города научной литературы (НА Коми НЦ УрО РАН, Ф. 1, Оп. 19, Д. 40, Л. 8).

ПОЕЗДКА НА СЕВЕР КОМИ АССР

Региональные властные структуры использовали приезд В. Н. Образцова, чтобы ознакомить его с состоянием Северо-Печорской железной дороги в связи с предстоящей её реконструкцией (достройкой). Подробных сведений об этой поездке на север республики не сохранилось, но известно, что он посетил Воркуту, Абезь, Ухту и Княжпогост. Академик консультировал строителей по разным проблемам: укрепление насыпи, реконструкция железнодорожных мостов, устройство разъездных путей и др. «Сейчас, между прочим, идёт вопрос о том, не следует ли уложить второй путь на Воркутинской линии, – писал В. Н. Образцов, – а ведь там лежат наши самые тяжёлые рельсы 1А, а паровозы ходят самые лёгкие. Почему так? Потому что мы уложили самые тяжёлые рельсы, а не уложили настоящего балласта. Балласт там плохой, а во многих случаях вообще нет



балласта. Если мы уложим балласт, мы сможем резко поднять провозную способность нашей Печорской магистрали. Эти вопросы сейчас занимают наше внимание, и в этом направлении пойдёт в дальнейшем вся железнодорожная политика Советского Союза» (НА Коми НЦ УрО РАН, Ф. 1, Оп. 1, Д. 98, Л. 14). Следовательно, в поездке на север республики академик Образцов выполнял экспертные функции.

Окончание поездки В. Н. Образцова в промышленные районы севера Коми АССР совпало с обнародованием 19 августа 1945 года правительственного решения о подготовке четвёртого пятилетнего плана восстановления народного хозяйства.

Отметим, что проблемы послевоенного восстановления разрушенной войной экономики Образцов обдумывал давно. В Московском институте инженеров железнодорожного транспорта в 1944 году на первом заседании специального семинара по изучению научно-технических проблем послевоенного развития транспорта СССР академик выступил с докладом «Взаимодействие различных видов транспорта, перспективы работы и развития отдельных видов транспорта в СССР». В докладе говорилось о значительном усилении роли автотранспорта, авиатранспорта и трубопроводов.

В Коми АССР Образцов продолжал разработку проектов послевоенного развития всех видов транспорта, прежде всего железнодорожного. Он предвидел сложности и дискуссии при обсуждении планируемого пятилетнего плана: «Сейчас отдельные линии только намечаются и предполагаются правительству для внесения в пятилетний план» (НА Коми НЦ УрО РАН, Ф. 1, Оп. 9, Д. 53, Л. 20).

ДОКЛАД НА СОБРАНИИ ПАРТИЙНОГО АКТИВА СЫКТЫВКАРА

Некоторые свои идеи Владимир Николаевич озвучил в августе 1945 года на собрании партийного актива г. Сыктывкара, уделив главное внимание транспортному обеспечению промышленных районов Коми АССР и роли Северо-Печорской железнодорожной магистрали (НА Коми НЦ УрО РАН, Ф. 1, Оп. 9, Д. 53, Л. 20). Слушателями были секретари первичных партийных организаций и руководители кружков системы партийно-политического образования.

Докладчик начал выступление тезисом, что, несмотря на тотальный характер прошедшей войны, неразрывная связь фронта и тыла и построенные в годы войны железные дороги, обеспечили победу. В качестве примера Образцов упомянул линию «от Котласа до Коноши и дальше по Архангельской дороге для передачи на Мурманск»: «Если бы мы не построили этих двух линий, то фактически мы потеряли бы Мурманск. Это стратегическая дорога и тут нельзя было рассчитывать выгодно или невыгодно строить» (НА Коми НЦ УрО РАН, Ф. 1, Оп. 9, Д. 53, Л. 13).

Академик подробно рассказал, какие изменения произойдут на железнодорожном, водном, автомобильном и авиационном транспорте. Он считал, что в Коми АССР «авиационное сообщение будет сильно развиваться», появятся новые виды транспорта, такие как трубопроводный, что необходимо развивать механизацию строительного дела и погрузо-разгрузочных операций на транспорте (НА Коми НЦ УрО РАН, Ф. 1, Оп. 9, Д. 53, Л. 16).

Главная задача развития транспорта в Коми АССР, по его мнению, была обусловлена соседством с «великолепными железными рудами на Кольском полуострове» и северном Урале. Но эти районы не имеют энергии для их обработки. Чтобы республика (как промежуточное звено) обеспечивала существование двух ближайших соседей, «нужно построить новую линию» (НА Коми НЦ УрО РАН, Ф. 1, Оп. 9, Д. 53, Л. 17) и «возможно, что в ближайшую пятилетку станет вопрос о линии от Кожвы до Ивделя» (НА Коми НЦ УрО РАН, Ф. 1, Оп. 9, Д. 53, Л. 19).

Развитие транспорта Образцов связал с проблемами демографии: «...создание Печорской магистрали почти удвоило население вашего края и в дальнейшем заселять район нам, безусловно, придётся [...], в частности ваш район – Коми республику, северную Сибирь и др.» (НА Коми НЦ УрО РАН, Ф. 1, Оп. 9, Д. 53, Л. 14).

Доклад заканчивался оптимистическим утверждением, что многие задачи придется решать в ближайшую пятилетку, т.к. необходимо «развить промышленность всей республики, поднять её до такого уровня, чтобы она из области почти аграрной и лесной превратилась в промышленную и сельскохозяйственную страну». «Нельзя иметь столицы, которая не связана сообщением с теми промышленными предприятиями,

которыми она владеет. Вам надо иметь связь с Котласом, с Троицко-Печорском, придётся построить железную дорогу Шиес–Сыктывкар» (НА Коми НЦ УрО РАН, Ф. 1, Оп. 9, Д. 53, Л. 19). Упоминание железнодорожной станции Шиес в Ленском районе Архангельской области объяснялось территориальной близостью до границы с Коми АССР – всего 4 км или 7 км по железной дороге. «Мы считаем, – подвёл итог докладчик, – что первоочередной должна быть Ивдельская линия и линия Шиес–Сыктывкар» (НА Коми НЦ УрО РАН, Ф. 1, Оп. 9, Д. 53, Л. 20).

В сущности, научно-пропагандистское выступление перед партийной элитой города вышло за рамки жанра. Сравнивая состояние транспорта в крупнейших странах мира, докладчик показал перспективы экономического развития страны и региона в связи с возрастанием роли почти всех видов транспорта как инфраструктуры для развития производительных сил.

Изучением естественных производительных сил страны в системе Академии наук занимались исследователи, объединённые по инициативе академика В. И. Вернадского в 1915 году в Комиссию по изучению производительных сил (КЕПС), с 1930 года – Совет по изучению производительных сил АН СССР (СОПС). В. Н. Образцов участвовал в её работе почти с самого начала, что видно из некоторых его публикаций в трудах Госплана. СОПС не только организовал экспедиции, в том числе Северо-Уральскую (1924–1928), Северо-Уральскую кварцевую (1932–1934), Уральскую комплексную (1939–1945), но проводил в разных городах научные конференции по изучению производительных сил. Как правило, на них только предоставляли обширный материал по конкретной территории, но не затрагивали межобластные проблемы.

Одна из таких Всесоюзных научных конференций по изучению производительных сил состоялась в г. Молотов (так в 1940–1957 годах называли Пермь) в ноябре 1945 года. В конференции участвовали вице-президент АН СССР акад. И. П. Бардин, академики Б. Е. Веденеев, Д. Н. Прянишников, С. Г. Струмилин и В. Н. Образцов. Предметом выступления В. Н. Образцова стала возрастающая роль в экономике страны развития транспорта на территории Коми АССР. По результатам конференции изданы тексты докладов (Конференция, 1947 [17]),

постановления и резолюции (Труды, 1947–1948 [18]).

О том, что доклад В. Н. Образцова был издан отдельной книгой, свидетельствует сохранившийся в Научном архиве Коми НЦ УрО РАН конспект заведующего экономической группой Базы АН СССР в Коми АССР, выпускника Ленинградского института народного хозяйства С. Ф. Попова. Сведения о самом Попове отрывочны. До войны он работал в плановых органах на Дальнем Востоке, в Саратове и Кирове, занимаясь перспективным планированием и экономическим обоснованием строительства новых предприятий. Современники отмечали, что Попов успел значительно пополнить научную библиотеку Базы АН СССР в Коми АССР книгами по лесной промышленности и транспорту, но 23 декабря 1947 года он скончался (НА Коми НЦ УрО РАН, Ф. 1, Оп. 1, Д. 108, Л. 1–3).

Конспект сделан по книге, опубликованной издательством Академии наук (Образцов, 1945 [19]). Попов выделил 20 рубрик, в том числе о долгосрочных проектах, перспективах развития железнодорожного, водного, автомобильного и авиационного транспорта (НА Коми НЦ УрО РАН, Ф. 1, Оп. 9, Д. 68, Л. 1–19).

Поиски этой публикации не увенчались успехом, что увеличивает значение сохранившегося в Сыктывкаре конспекта одной из работ академика В. Н. Образцова. Доклад был настолько содержательным и широко-масштабным, что его как самостоятельную публикацию выпустили и в Молотове. Благодаря заведующей отделом краеведения Пермской краевой универсальной библиотеки им. А. М. Горького Я. Е. Араптановой, удалось обнаружить это издание (Образцов, 1945 [20, с. 13]), которое можно рассматривать как тезисный вариант предыдущей публикации.

Следует напомнить, что доклад состоялся в конце победоносного 1945 года, когда страна ещё находилась в руинах. Поэтому перспективы развития транспорта после войны, представленные академиком, безусловно, произвели на слушателей и читателей сильное впечатление. Для целей нашего историко-биографического исследования подчеркнем, что выступление было нацелено на развитие экономики Коми АССР.

Образцов утверждал, что народное хозяйство и транспорт Молотовской области не



могут рассматриваться изолированно от соседних областей. Решающее значение для его развития имеют народное хозяйство и транспорт Коми АССР, Свердловской, Архангельской, Вологодской и Кировской областей. Великая Отечественная война резко изменила и продвинула экономику этого региона. За годы войны осуществлено широкое развитие угольной, нефтяной, газовой промышленности в Коми АССР и построена Северо-Печорская железнодорожная магистраль, «завершившая оформление крупного энергетического центра на северо-востоке Европейской части СССР».

«Наличие больших запасов высокоценной руды, тепло- и энергоёмкого сырья на Кольском полуострове, на восточном склоне Уральского хребта, т. е. как раз по обе стороны от необходимого для обработки их энергетического центра (Печорского бассейна и воркутинских коксующихся углей) должно быть использовано. Это выдвигает вопрос о немедленной разработке и частичном строительстве уже в предстоящем пятилетии Кольско-Печорского комбината (а в дальнейшей перспективе встаёт на очередь реализация и Урало-Печорского комбината), с использованием энергетического центра Коми АССР, морских путей для экспорта и внутрисоюзных связей для Кольско-Печоро-Уральского комплекса в целом». Строительство крупнейших гидроэлектрических станций в районах Молотова, Соликамска, Печоры и Вычегды «существенно изменит энергетику области, условия водного транспорта, положение и площади затопления» (Образцов, 1945 [20, с. 4–5]).

Для расширения экономических связей с Ленинградом, Мурманском, Архангельском и развития международных отношений может быть использована намеченная «постройка порта в Индиге и железнодорожной линии Кожва–Цильма–Индига, соединяющей этот порт с ж[елезно]-д[орожной] сетью». Село Индига Ненецкого национального округа имеет удобное географическое положение на восточном берегу Баренцева моря в устье одноименной реки, находится в зоне вечной мерзлоты, но бухта почти не замерзает. В ней можно создать хорошо защищённый порт круглогодичного действия, доступный для океанских судов, т. к. морская глубина здесь довольно значительна, а портовые устройства возможно соорудить на

большой площади бухты. Кроме того, здесь не наблюдалось значительных колебаний уровня воды при речных паводках и морских приливах, что не осложняет работу порта. С конца XIX в. район привлекал внимание экономистов для создания порто-франко (от итал. *porto franco* – свободный порт) – гавани, в который ввоз и вывоз иностранных товаров допускается беспошлинно (Иогансон, Белобородов, 1928 [21]).

Идею строительства морского порта и железной дороги до Индиги В. Н. Образцов впервые высказал ещё на собрании партийного актива Сыктывкара: «Это будет незамерзающий порт, он будет работать значительно дольше, чем Архангельск, может быть десять месяцев, а при некоторых условиях даже и круглый год» (НА Коми НЦ УрО РАН, Ф. 1, Оп. 9, Д. 53, Л. 18).

Для коренного улучшения водных путей Камского, Печорского и Вычегдского бассейнов предполагаемый проект строительства трёх плотин на Каме, Печоре и Вычегде, связанный с созданием крупных водохранилищ, не затрудняет в дальнейшем постройку железнодорожной линии из Молотовской области через Кожву к Индиге.

Создание мощного энергетического центра в районе Северо-Печорской железнодорожной магистрали, по его мнению, было возможно, потому что Воркутинский бассейн расположен между «двумя недостаточными по коксу районами добычи руды (на Урале и на Кольском полуострове)». «Для связи Воркутинского угольного бассейна с районами железорудных месторождений необходимо строительство новых железных дорог»: от Кожвы на Индигу к Кольскому полуострову и от Кожвы на Ивдель и Соликамск. Большую роль в транспорте угля должно сыграть Баренцево море после постройки портов в Хабарове и Индиге». С другой стороны академик высказал предложение о строительстве «металлургического завода в районе Воркуты (например, у Кожвы) с целью уменьшения пробегов угля и создания двустороннего сообщения по углю на Урал и по руде в Кожву, что может послужить основой будущего Урало-Печорского комбината» (Образцов В. Н., Комплексное, 1945 [20, с. 5]).

Связь Молотовской области с Северо-Печорской линией и в последующем с Индигой, по мнению В. Н. Образцова, наиболее

целесообразно было проектировать по направлению от Соликамска в район к северо-востоку от Кожвы, по правому берегу Печоры, что позволило бы использовать близкие угольные площадки на западных склонах Урала и богатые, неосвоенные транспортом, массивы леса. В первую очередь, надо строить линию от Кожвы на Ивдель, с переходом Урала севернее Вишеры, поскольку это направление захватывает крупнейшие богатства минерального сырья (марганца, железных руд, бокситов, золота) и позволяет освоить лесные массивы севера Свердловской области. Независимо от этого движение сибирского леса на экспорт желательнее обеспечить линией Самарово–Кожва–Ивдель.

В. Н. Образцов подчёркивал «исключительно великую» роль создания на северо-востоке Европейской части Урало-Печорского комбината. По его словам, вопрос об Урало-Печорском комбинате находится в такой стадии, когда «настоятельно необходимо производство ряда детальных расчётов, научно-исследовательских и проектно-изыскательских работ». Необходимо «организованно заняться практической разработкой проблемы Урало-Печорского комбината в целом». Чтобы увеличить грузоподъёмность и скорость железнодорожных составов, Образцов говорил об утяжелении рельсового пути, расширении железнодорожной колеи, прокладке вторых рельсовых путей. Обращая внимание на строительство шоссе для автомобильного транспорта, он повторил, насколько актуально усовершенствование техники погрузо-разгрузочных работ.

Главная идея доклада заключалась в необходимости энергетического обеспечения транспорта. В то же время академик признавал, что плотины и водохранилища сильно затруднят строительство железных дорог, увеличат их протяжённость и удорожат эксплуатацию.

Таким образом, после поездки в Коми АССР В. Н. Образцов обобщил необходимые усовершенствования Северо-Печорской железной дороги, сформулировал её стратегическое значение и экономические перспективы использования. Академик разработал и выдвинул комплексный план развития крупнейших железнодорожных центров Европейского севера и Урала. Выступление

в Молотове отразило эти новационные позиции Образцова.

Академик понимал, что не все его проекты будут приняты, и предвидел сложности при обсуждении планируемого пятилетнего плана: «Вы представляете, сколько тут будет споров и разговоров» (НА Коми НЦ УрО РАН, Ф. 1, Оп. 9, Д. 53, Л. 20).

В «Законе о пятилетнем плане восстановления и развития народного хозяйства СССР на 1946–1950 гг.», принятом 18 марта 1946 года, главное внимание уделяли восстановлению разрушенных западных и южных районов страны. Однако в плане была поставлена ещё одна задача. Чтобы, обойдя перегруженные железнодорожные узлы Нижнего Тагила и Свердловска, соединить богатые рудой промышленные пункты Сосьву и Алапаевск была введена в эксплуатацию в 1947 г. линия Сосьва–Алапаевск. Так была завершена новая меридиональная линия, связавшая Южный Урал (Челябинск) с промышленными районами Северного Урала.

Образцов же ратовал за развитие промышленности и транспорта на территории Европейского Севера. Обладая мощным аналитическим умом, академик Образцов понимал, что его собственные проекты носят глобальный характер. Тем не менее, именно в период повсеместного обсуждения проекта четвёртого пятилетнего плана он инициировал более далёкие для выполнения проекты. Эти задачи представляют большую научную ценность как программы освоения территории Севера и Арктики, но не реализованы до сих пор.

ВЫВОДЫ

Послевоенные проекты железнодорожного строительства академика В. Н. Образцова позволяют по-новому оценить его творчество по отношению к северным (полярным) регионам. Главным районом развития экономики и транспорта европейской части СССР Образцов считал территорию Коми АССР.

Образцова можно отнести к экспертам, влиявшим на проекты и практику освоения Севера. В. Н. Образцов разработал необходимую логистику для реализации первых программ строительства железных дорог, потому что признавал наиболее удобными районы, близко расположенные к основным районам, где сосредоточены строительные



материалы, углеводородное сырьё и имеются резервы достаточной рабочей силы. Для бесперебойного транспортного обеспечения экономики он считал необходимым прокладывать рациональные маршруты, развивать железнодорожный транспорт, создавать транспортные коридоры, сводить к минимуму транспортные затраты. Очевидно, что Владимир Николаевич Образцов – крупная фигура развития логистической транспортной инфраструктуры.

Академик Образцов инициировал более далёкие для выполнения проекты, которые в силу объективных обстоятельств не реализованы до сих пор. Но его программы освоения территории Севера и Арктики представляют огромную научную ценность и особенно актуальны в условиях XXI века.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Славин С. В. Промышленное и транспортное освоение Севера СССР. – М.: Экономиздат, 1961. – 302 с.
2. Ковалев И. В. Транспорт в Великой Отечественной войне (1941–1945 гг.). – М.: Наука, 1981. – 480 с.
3. Калеменева Е. А. Смены моделей освоения Сибирского Севера в 1950-е гг. // Сибирские исторические исследования. – 2018. – № 2. – С. 181–200.
4. Киселенко А. Н. О развитии транспортной системы Европейского севера России // Региональная экономика: теория и практика. – 2014. – № 11 (338). – С. 2–11.
5. Куратова Э. С. Методология экономической оценки товарообменных процессов для целей совершенствования пространственной организации транспорта // Автореферат дис... док. экон. наук. – М.: Московский гос. университет путей сообщения (МИИТ), 2010. – 48 с.
6. Куратова Э. С., Рошевский М. П., Рошевская Л. П., Елькин А. Ю. Проектирование и строительство железных дорог в XIX–начале XX в. Проектирование и строительство железных дорог после 1917 г. // Атлас Республики Коми. – М.: ДИК, 2001. – С. 306–307, 428–429.
7. Ванеев А. Образцов Владимир Николаевич // Республика Коми: Энциклопедия. – Т. 2. – Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1999. – 576 с.
8. Силин В. Академик Образцов Владимир Николаевич // Связь времен / Ред.-сост. И. Л. Жеребцов, М. И. Курочкин. – Сыктывкар: Фонд «Покаяние», 2000. – 863 с.
9. Сивкова А. Н. Путь на Усть-Ухту // Дым отчества. Кн. 11. 2012 год. – Сыктывкар, ООО «Коми республиканская типография», 2017. – 640 с.
10. Самарин А. В. История Коми научного центра Уральского отделения АН СССР: становление и разви-

тие (1944–1991 гг.) / Коми научный центр Уральского отделения РАН. – Сыктывкар, 2006. – 236 с.

11. Владимир Николаевич Образцов / Вступ. статья В. В. Звонкова, В. П. Ключарева. – М.: Изд-во Всес. книж. палаты, 1944. – 32 с.

12. Шишкин Н. И. Учёный патриот. 75 лет со дня рождения В. Н. Образцова // За новый Север. – 18.06.1949.

13. Образцов Владимир Николаевич [Некролог] // За новый Север. – 30.11.1949.

14. Байков А., Грицке Э., Образцов В. Ресурсы Урала [О работах Комиссии АН СССР по изучению и мобилизации промышленности, энергетических и транспортных ресурсов] // Известия. – 14.03.1942.

15. Образцов В. Н. Транспорт Урала // Вестник Академии Наук СССР. – 1943. – № 4–5. – С. 52–57.

16. Рошевская Л. П., Бровина А. А., Самарин А. В., Чупрова Э. Г. Документальная история Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук: Коми филиал АН СССР в 1944–1964 гг. / Коми НЦ УрО РАН. – Сыктывкар, 2009. – 456 с.

17. Конференция Академии наук СССР по изучению производительных сил Молотовской области. 26 ноября – 4 декабря 1945 г. Постановления и резолюции. – Молотов, 1947. – 146 с.

18. Труды конференции по изучению производительных сил Молотовской области. 26 ноября – 1 декабря 1945 г. Народнохозяйственные проблемы Молотовской области. В 2 т. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1947–1948.

19. Образцов В. Н. Комплексное развитие транспорта Молотовской области // Доклад на конференции по изучению производительных сил Молотовской области 27 ноября 1945 г. – ОГИЗ. Молотовское обл. изд-во, 1945. – С. 4–5.

20. Образцов В. Н. Комплексное развитие транспорта Молотовской области. Тезисы доклада на конференции по изучению производительных сил Молотовской области 26 ноября – 1 декабря 1945 г. – М.-Л.: Изд-во АН СССР и Молотовского облисполкома, 1945. – 38 с.

21. Иогансон Е. Г., Белобородов В. Я. Порт Индига. Соображения о железнодорожном строительстве к порту Индига и о грузовых потоках к нему / Предисл. Г. М. Муравьёва. – Усть-Сысольск: Изд. Облисполкома авт. обл. Коми, 1928. – 56 с.

СПИСОК АРХИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ

Государственный архив социально-политической истории Тюменской области (ГАСПИТО). Ф. 4060. Оп. 1. Д. 2. Л. 25.

Научный архив ФИЦ «Коми Научный центр Уральского Отделения РАН» (НА Коми НЦ УрО РАН). Ф. 1. Оп. 1. Д. 98. Л. 14.

НА Коми НЦ УрО РАН. Ф. 1. Оп. 1. Д. 110. Л. 6–15.

НА Коми НЦ УрО РАН. Ф. 1. Оп. 1. Д. 123. Л. 8–19.

НА Коми НЦ УрО РАН. Ф. 1. Оп. 1. Д. 196. Л. 1.

НА Коми НЦ УрО РАН. Ф. 1. Оп. 9. Д. 53. Л. 1–20.

НА Коми НЦ УрО РАН. Ф. 1. Оп. 9. Д. 68. Л. 1–19.

НА Коми НЦ УрО РАН. Ф. 1. Оп. 19. Д. 40. Л. 8. ●

Информация об авторах:

Рошевская Лариса Павловна – доктор исторических наук, главный научный сотрудник отдела междисциплинарных гуманитарных исследований Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук», Сыктывкар, Россия, lp38rosh@gmail.com.

Рошевский Михаил Павлович – доктор биологических наук, академик Российской академии наук, профессор, главный научный сотрудник Института языка, литературы и истории Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук», Сыктывкар, Россия, roshmp@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 14.03.2021, одобрена после рецензирования 18.05.2021, принята к публикации 30.06.2021.



Технические железнодорожные училища и ремесленные железнодорожные курсы



Пресс-архив

Публикация в журнале «Железнодорожное дело» за 1911 год, то есть 110 лет назад, самым подробным образом анализировала организацию подготовки технических специалистов для железных дорог, как мы сказали бы сейчас, на базе профессионального обучения и среднего профессионального образования. Более того, приводятся взгляды на содержание обучения, набор востребованных дисциплин, квалификации, компетенции и навыки.

Ключевые слова: история, железная дорога, обучение, училища, курсы.

В своём солидном труде «Железнодорожная неразбериха» опытный железнодорожник Н. П. Верховской высказывает правильную мысль: «на управлении железных дорог лежит особая задача, по своей серьёзности составляющая альфу и омегу всего железнодорожного дела – это именно выработка систематической планомерной организации училищ, школ и курсов, настолько распространённых, чтобы ни одна железнодорожная должность, носящая какой-либо технический характер, в универсальном значении этого слова, не была замещена на дорогах никем иным, как только лицом, подготовленным специально к занятию ею». Безусловно верно – не говоря о высших и средних железнодорожных агентах, даже

и низшие должны быть достаточно развиты, хорошо грамотны и со специальными познаниями, чтобы правильно понимать и добросовестно, уверенно исполнять свои сложные и трудные обязанности технического характера. Из низших, но очень ответственных, должностей нужно указать: по службе пути – на должности старших дорожных мастеров, дорожных мастеров, артельных старост (старших рабочих); по службе подвижного состава и тяги – паровозных машинистов и их помощников, мастеров, монтеров (десятников) участковых мастерских, машинистов постоянных машин мастерских и водокачек, технических агентов передачи вагонов, осмотрщиков вагонов и т.д. Для подготовки молодых людей, способных, по окончании

Для цитирования: Мыльников В. Технические железнодорожные училища и ремесленные железнодорожные курсы // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 3 (94). С. 133–136. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-14>.

Благодарность. Редакция выражает признательность сотрудникам библиотеки Российского университета транспорта за помощь в подготовке материала.

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

курса и практики, занимать перечисленные должности, Правительство открыло технические железнодорожные училища, по положению 1886 года. В настоящее время насчитывается технических железнодорожных училищ – 41. Это, очень малое количество училищ, выпускает из своих стен очень малое и совершенно недостаточное число лиц, занимающих должности технического характера на железных дорогах. Да и подготовка к практической, сознательной деятельности оканчивающих технические железнодорожные училища – недостаточна. Технические железнодорожные училища за время своего существования дали много работников на железнодорожном поприще. Часть из них оказалась очень полезной для дела, а в части же, и, по моему мнению, значительно большей, трудно рассмотреть, что, собственно, дали им технические училища. Выдающиеся своими способностями, бывшие воспитанники технических железнодорожных училищ должны быть поставлены наряду с хорошими практиками-инженерами, напр., в Бологом Николаевской дороги, в мастерских капитального ремонта паровозов, мастер-техник К. М. Михайлов прекрасно ведёт инженерное дело по большому ремонту паровозов. Но, у большинства «техников» (бывших воспитанников железнодорожных училищ) специальная железнодорожная подготовка – мала, грамотность и общее развитие – очень посредственны. Окончившие курс технических училищ склонны к подчёркиванию того, что они получили специальное образование и, в силу этого, по их мнению, они должны получать большие льготы при повышении и нести более лёгкую службу. Я помню много таких претензий «техников», из своей практики. Например: помощника машиниста из «техников» назначаю на паровоз с угольным отоплением (при существовании угольных и нефтяных паровозов); «техник» является с заявлением, что я не должен был назначать его на трудную работу на угольном паровозе и только потому, что он окончил техническое училище. Такой служащий совершенно не считается с тем, что часто во время большого движения бывает некогда разбирать, кого из агентов назначать на трудную работу, кого на лёгкую, кроме того, предоставление особых льгот «техникам»-белоручкам – неудобно и производит отрицательное впечатление на служащих. По-видимому, в технических учи-

лищах имеет место неправильная постановка дела и несоответствие программ преподавания с поставленной целью – дать развитых техников для занятия низших железнодорожных должностей. В программах преподавания отсутствуют общеобразовательные предметы, кроме математики, преподаваемой в самых минимальных размерах. Благодаря этому «техники» являются малоразвитыми и плохо грамотными. Можно предположить, что за счёт общеобразовательных предметов проходят хорошо и практически пригодны в будущем – и специальные предметы: паровая механика и устройство паровозов, железнодорожное дело, телеграфия и др.; но и этого в действительности нет. Далее, плохо, что ученики не разделяются по специальностям, на подготовляющихся к деятельности: 1) по службе тяги и 2) по службе пути; времени – мало, всего три года, между тем все ученики должны изучать в одинаковом объёме специальности и службы пути, и службы тяги. Результаты получаются – плачевные, Чтобы доказать последнее, укажу на следующее явление, подмеченное мною на практике: на экзаменах в службе тяги на должности помощников машинистов, на право самостоятельного управления паровозом, на право сопровождать поезда большой скорости (пассажирские) – на вопросы, касающиеся устройства паровозов, их работы и т. д. – «техники» отвечают не лучше рядовых слесарей паровозных мастерских, не получивших никакого специального технического образования. А те «слесари», или вышедшие из слесарей, агенты-практики, которые ознакомились как следует с доступными пособиями по паровозной службе Бема, Арциша, Кузнецова, Голубева и др., и с интересом и вниманием относились к делу во время работ по ремонту паровозов, – обнаруживают более обстоятельное, дельное и сознательное знакомство с устройством паровоза, чем «техники». Что же касается знакомства с приёмами ремонта, в различных случаях поломок частей паровоза, то, конечно, бывшие слесари обладают им больше, чем «техники». Из сказанного нужно заключить, что специальные познания «техников» по устройству паровоза являются далеко не удовлетворительными. Немного знаний, пригодных к делу, по отзывам компетентных лиц, дают технические училища и по другим специальным предметам. Много времени затрачивается учениками

технических училищ на практические занятия по столярному, кузнечному и слесарному ремёслам. При рациональной постановке дела практические занятия должны были бы принести большую пользу. Но, к сожалению, результаты и в этом плохие. Технические училища дают из рук вон плохих слесарей, между тем как в службе тяги на низших технических должностях, например, машинистов и их помощников, должны быть лица, знающие хорошо слесарное ремесло. Невольно приходится отдавать преимущество практикам-машинистам и их помощникам перед «техниками», тем более что к экзамену на должность помощника машиниста допускаются из мастерских лучшие, по работе, слесаря и отличающиеся другими достоинствами: совершенной трезвостью, исполнительностью и т.д.

Постановка дела в технических училищах и программы преподавания, очевидно, неудовлетворительны. Я не буду останавливаться на проекте желательных преобразований железнодорожных училищ, а укажу только на то, к чему повела неудовлетворительная в них постановка дела. Потребность в низших развитых техниках в железнодорожном деле – велика, технические железнодорожные училища не удовлетворяют потребности, поэтому, думаю, на различных железных дорогах, как казённых, так и частных, появились специальные курсы для подготовки лиц, пригодных занимать различные низшие технические железнодорожные должности. Министерство Путей Сообщения и управления многих дорог и частные лица пошли навстречу назревшей потребности. У меня нет точного перечня различных курсов, но я перечисляю только те, о которых была речь в попадавшей в мои руки литературе. Для подготовки мастеров железнодорожных мастерских Варшаво-Венская дорога давно уже открыла 4-летние курсы в Жбиков. На станции Козлов управление Рязанско-Уральской дороги открыло школу для подготовки опытных рабочих различных наименований. Появились вечерние курсы на Юго-Западных дорогах. Были открыты прекрасные С.-Петербургские железнодорожные курсы для подготовки агентов службы движения, ремесленные курсы на бывшей Харьковско-Севастопольской дороге, телеграфные школы на бывшей Юго-Полтавской дороге, железнодорожные курсы для подготовки агентов

движения на Рязанско-Уральской дороге, подобные же курсы на Юго-Западных и Закавказских дорогах, телеграфная школа на Риго-Орловской дороге, вечерние курсы для ремонтных рабочих на Ташкентской дороге и т.д.; эти сведения старые и неполные.

Министерство путей сообщения выработало особое положение о ремесленных курсах. На основании этого положения в январе 1904 года были открыты на станции Бологое Николаевской железной дороги, при паровозных мастерских капитального ремонта, 2-летние ремесленные курсы. В печати об этих курсах, кажется, ещё ничего не появлялось, поэтому я подробно остановлюсь на описании их функционирования. Возможно, что в настоящее время в некоторых деталях дело изменилось; я могу дать точные сведения за 1904–1905 годы, когда я состоял преподавателем специальных предметов, руководителем графических искусств и секретарём Педагогического Совета этих курсов. Слушателями курсов являются молодые слесари и ученики паровозных мастерских. Приём на курсы производится по вступительному экзамену по русскому языку и арифметике. Возраст слушателей I курса колеблется от 17 до 20 лет (молодые люди – взрослые, сознательные). Число слушателей было равно (в 1904–1905 гг.) 20–22 на каждом курсе. Большая часть слушателей до поступления обучалась в местном низшем училище, из них многие окончили полный курс – 6 отделений, некоторые вышли из 6-го, 5-го и 4-го отделений. Регулярные ежедневные занятия на курсах идут в урочное для работ в мастерских время – в те дни недели, когда производятся работы в мастерских, с 4-х до 6 часов вечера и в воскресные и праздничные дни с 12 до 2 часов. В воскресные дни преподаются на обоих курсах описательные общеобразовательные предметы: закон Божий и отечествоведение; слушатели курсов отпускаются за полчаса до начала занятий на курсах – домой; в эти полчаса они должны вымыть лицо и руки и надеть чистое платье. Курсы имеют своё специальное помещение, хотя и недостаточное по размерам (а отсюда, ограниченный приём слушателей). Заведует курсами местный начальник участка службы тяги (он же начальник мастерских капитального ремонта паровозов). Преподавателями состоят три инженера-технолога из администрации



участка тяги и три учителя местного городского училища. Занятия производятся с 1 сентября по 1 июня. В 1905 году экзамены и первый выпуск курсистов были сделаны в мае (при усиленных занятиях на II курсе до 4 часов в день – в последние месяцы), т. е. раньше положенного времени, вследствие того, что на участке ощущалась особенная потребность в помощниках машинистов, и все окончившие курсы в 1905 году, были испытаны на помощников машинистов тотчас же по окончании занятий на курсах. Интересно подвести итог тому, с чем и в каком объёме успели ознакомиться слушатели курсов за два года. На I курсе преподавались следующие предметы: закон Божий, русский язык, отечествоведение, арифметика, геометрия, рисование и черчение; на II курсе – кроме предметов I курса: технология металлов и техническая физика. По закону Божию пройдены в два года, в сокращённом виде, но основательно: история Ветхого и Нового завета, Богослужение, катехизис и история церкви. По русскому языку, на который было обращено особенное внимание, пройдены: этимология, краткий синтаксис, сообщены краткие понятия из теории словесности, курсисты ознакомились с лучшими произведениями русской литературы, писали много сочинений, – большей частью излагали своими словами содержание прочитанных произведений отечественной литературы. По отечествоведению пройдены: география России, в связи со знакомством с промышленностью и торговлей различных районов России, и краткая русская история. По арифметике пройдены: действия с простыми и именованными числами, простая десятичная и периодическая дроби, пропорции, проценты, простое тройное правило. Учениками в два года было сделано много задач на все отделы арифметики и вычисление алгебраических формул. Делались задачи, имеющие специальный характер, например, на вычисление силы тяги паровоза, вычисление премии за топливо паровозным бригадам и т. д. По геометрии пройдены планиметрия и стереометрия. Последняя кратко и без доказательств. Курсистами было сделано много задач на вычисление и построение. По рисованию достигнуто то, что курсисты порядочно владеют карандашом. Слушатели обучались приёмам черчения, и ими было сделано много черте-

жей несложных деталей машин. При вычерчивании деталей они знакомились преподавателем с конструктивными особенностями этих частей машин; курсисты научились порядочно читать чертежи. Кратко курсисты были ознакомлены с технологией металлов. Под именем «технической физики» преподавалась физика параллельно с механикой и специальными предметами. Было пройдено: силы, равновесия твёрдых, жидких и газообразных тел, теплота, равновесие сил на простых машинах. Было сделано много задач на удельный вес, теорию рычагов и др. Курсисты были ознакомлены со специальными предметами: с паровыми котлами, главными их типами и деталями паровой машины и разделением паровых машин на главные типы. Знакомство с паровыми машинами и котлами было сделано краткое и только для того, чтобы подготовить курсистов к подробному ознакомлению с устройством и работой паровозов. Преподавание по устройству паровозов велось по заводским чертежам, наглядно – на паровозах участка и по моделям, например, была сделана прекрасная модель парораспределения паровоза в $\frac{1}{10}$ натуральной величины, приводимая в движение. Были даны специальные сведения о заправках паровозов, промывках и т. д. Результаты, достигнутые курсами, оказались вполне удовлетворительными. Курсы сделали малоразвитых и малограмотных молодых людей достаточно развитыми и, безусловно, грамотными, умеющими свободно и толково излагать свои мысли устно и письменно. Железная дорога получила теоретически подготовленных слесарей-практиков, которые, получив должности паровозных машинистов и др., явятся вполне удовлетворительными агентами. Большое спасибо надо сказать Управлению Николаевской дороги за то, что оно обставляет курсы очень хорошо, снабжая их всеми необходимыми учебными и чертёжными пособиями, принадлежностями и книгами. Принимая во внимание хорошие результаты, достигаемые Бологовскими курсами, можно высказать пожелание, чтобы на всех дорогах открывались подобные курсы. Ведь содержание их стоит очень недорого, а польза громадная.

Инженер В. Мыльников
Ст. Златоуст, Самаро-Златоустовской ж.д.
(Железнодорожное дело. – 1911. –
№ 48. – С. 313–315) ●



ТРАНСПОРТ И ПРАВО

138

Рецензия на книгу, посвященную правовым аспектам предотвращения массовых инфекционных заболеваний на транспорте на примере пандемии COVID-19.



КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

АВТОРЕФЕРАТЫ ДИССЕРТАЦИЙ

141

- *Каменный материал оснований при проектировании дорожных одежд.*
- *«Структурный геотехнический массив» – улучшенное основание с заданными физико-механическими характеристиками.*
- *Машинная идентификация режимов работы рельсовых цепей и кодовых сигналов автоматической локомотивной сигнализации.*
- *Автоматизированная система управления пожарными рисками при обеспечении безопасности движения на железнодорожном транспорте.*
- *Повышение эффективности автоматизированного управления движением поездов на участках, электрифицированных переменным током.*

НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ

146

Новые публикации, увидевшие свет в российских издательствах.





Организационно-правовые проблемы на транспорте в условиях пандемии



Олег ДАМАСКИН

Олег Валерьевич Дамаскин

Институт государства и права РАН, Москва, Россия.

✉ dov39@mail.ru.

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.

Очевидно, что с одной стороны транспорт стал самым уязвимым местом для человека при распространении болезней типа новой коронавирусной инфекции, а с другой – транспорт как отрасль пострадал от пандемии больше других. Более того, в случае с COVID-19 транспорт стал своеобразным «средством передвижения» новой инфекции между странами и континентами. И эта новая для мира ситуация подняла много вопросов о предупреждении и организационно-правовых проблемах завоза и распространения болезней, которые принимают форму пандемии. Как должна функционировать транспортная система в таких условиях? Как

обеспечить безопасность в условиях пандемии? Как оказывать медицинскую помощь работникам отрасли и пассажирам? Какова эффективность конкретных правовых средств для обеспечения нормальной деятельности транспортной системы в условиях пандемии?

В издательстве «Русайнс» вышла монография «Организационно-правовые проблемы предупреждения завоза и распространения массовых инфекционных заболеваний на транспорте (на примере пандемии коронавирусной инфекции COVID-19)», подготовленная авторским коллективом учёных в составе А. И. Землина, М. В. Клёнова и И. В. Холикова.

Монография посвящена анализу наиболее актуальных вопросов использования правовых средств для регулирования общественных отношений в сфере транспорта в условиях возникновения необходимости предупреждения завоза и опасности распространения коронавирусной инфекции COVID-19.

В статье даётся короткая рецензия на это исследование.

Ключевые слова: транспорт, право, пандемия, массовые заболевания, противодействие, распространение, коронавирусная инфекция.

Для цитирования: Дамаскин О. В. Организационно-правовые проблемы на транспорте в условиях пандемии // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 3 (94). С. 138–140. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-15>.

**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.**

Продолжающаяся пандемия новой коронавирусной инфекции COVID-19, экономический ущерб от которой ещё только предстоит оценить [1], затронула практически все сферы жизни современного общества. Монографическое исследование «Организационно-правовые проблемы предупреждения завоза и распространения массовых инфекционных заболеваний на транспорте (на примере пандемии коронавирусной инфекции COVID-19)» посвящено вопросам использования правовых средств для регулирования общественных отношений в сфере транспорта в условиях возникновения необходимости предупреждения завоза и опасности распространения этого заболевания [2].

Теоретическая актуальность и практическая значимость рецензируемой монографии детерминирована тем, что, как обоснованно отмечается в трудах представителей научной школы «Транспортное право», успешное функционирование транспортной системы предполагает не только знание её субъектами нормативных правовых актов, но и системное осуществление организационных мероприятий в интересах обеспечения законности и правопорядка на транспорте [3], в условиях противодействия нарастающим террористическим угрозам [4; 5], а также реализацию мероприятий по обеспечению безопасности транспортной инфраструктуры на основе доктринальных подходов [6], комплекса медицинских и медико-социальных мероприятий, направленных на снижение риска возникновения чрезвычайных ситуаций [7], на минимизацию медико-санитарных последствий, на сохранение здоровья людей, уменьшение ущерба окружающей природной среде при использовании объектов транспорта и транспортной инфраструктуры [8] и многое другое.

Не обошли авторы своим внимание и вопросы правового регулирования транспортных отношений в условиях реализации Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года, то есть вопросов, традиционно относящихся к предмету исследования представителей научной школы «Транспортное право» [9–11].

Необходимо отметить, что организационно-правовые вопросы обеспечения контроля за состоянием здоровья и оказанием

медицинской помощи работникам и пассажирам на транспорте, оказания помощи иностранным государствам в борьбе с пандемиями, международно-правовой ответственности за распространение массовых заболеваний уже становились предметом пристального интереса многих отечественных юристов и медиков, среди которых и авторы указанной монографии [12–16]. Однако в данном исследовании они уделили значительное внимание проблемным вопросам функционирования транспортной системы в условиях пандемии COVID-19, а также обеспечению транспортной безопасности при реализации мероприятий по противодействию завозу и распространению этой инфекции.

На основе анализа организационно-правовых основ функционирования системы предупреждения распространения массовых заболеваний сделаны отдельные выводы относительно степени эффективности конкретных правовых средств для обеспечения эффективной и законной деятельности участников транспортных правоотношений в условиях продолжающейся пандемии.

Обращает на себя внимание высокое качество проведённого исследования, его междисциплинарный характер. Авторы монографии свободно оперируют не только юридическим, но и медицинским понятийно-категорийным аппаратом. Высокой оценки, в частности, заслуживают результаты ретроспективного анализа различных последствий эпидемий и пандемий инфекционных болезней.

В монографии авторами справедливо отмечается, что правовая основа, определяющая основания, меру и механизмы противодействия угрозам безопасности на транспорте в условиях сложной эпидемиологической обстановки, вызванной распространением коронавирусной инфекции (COVID-19), весьма многообразная и многоуровневая. Многочисленные правовые акты, относящиеся к различным отраслям права, не всегда соответствуют требованиям системного единства, избытуют пробелами и коллизиями, что затрудняет их применение.

По результатам исследования авторами сформулированы обоснованные выводы и предложения, использование которых,



безусловно, повысит эффективность организации деятельности органов управления транспортом в условиях введения ограничительных мер в целях противодействия завозу и распространению на территории России инфекций. Отметим, что авторские рекомендации сделаны с учётом полученного опыта деятельности в условиях пандемии COVID-19.

Монография соответствует современным научным требованиям актуальности, новизны, теоретической и практической значимости и, бесспорно, будет представлять интерес для широкого круга читателей, включая медиков, юристов, государственных служащих, научных работников, преподавателей и слушателей образовательных учреждений по подготовке и повышению квалификации специалистов в области организации здравоохранения, государственного санитарно-эпидемиологического надзора, государственного управления, транспорта и национальной безопасности.

Также представляется, что результаты исследования могут стать основой для научной дискуссии по проблемам, связанным с принципиальными подходами, содержанием, механизмами и процедурами введения мер по предотвращению распространения инфекций, затрагивающих права и свободы участников транспортных правоотношений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Холиков И. В. Распространение эпидемий, пандемий и массовых заболеваний как глобальный вызов современности // Пути к миру и безопасности. – 2020. – № 2 (59). – С. 33. DOI: 10.20542/2307-1494-2020-2-27-40.
2. 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.
3. Землин А. И. Административно-правовые аспекты обеспечения транспортной безопасности // Национальная безопасность и стратегическое планирование. – 2019. – № 4 (28). – С. 10–14. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_42391795_44488503.pdf. Доступ 24.11.2020.
4. Землин А. И., Землина О. М., Козлов В. В., Холиков И. В. Правовые и организационные аспекты обеспечения противодействия терроризму на транспорте:

Учебник / 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2020. – 155 с.

5. Землин А. И., Козлов В. В. Противодействие терроризму. Организационно-правовое обеспечение на транспорте: Учеб. пособие. – М.: Юрайт, 2019. – 182 с.
6. Землин А. И., Петров Ю. И., Харламова Ю. А. Актуальные проблемы развития транспортного законодательства и транспортного права России: Монография / 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Русайнс, 2019. – 191 с.
7. Землин А. И., Землина О. М., Швыдченко О. Н. Актуальные вопросы технического регулирования безопасности метрополитенов // Вестник Юридического института МИИТ. – 2018. – № 1 (21). – С. 87–101. [Электронный ресурс]: https://ui-miit.ru/files/docs/vestnik-ui/vestnik_ui_21.pdf. Доступ 24.11.2020.
8. Bagreeva E. G., Zemlin A. I., Shamsunov S. Kh. Does Environmental Safety Depend Upon the Legal Culture of Transport Specialists? *Ekoloji*, 2019, Iss. 107, pp. 4961–4965.
9. Землин А. И., Химич Т. М., Филиппова М. Ю., Расулов А. В., Гоц Е. В., Землина О. М., Матвеева М. А., Пищелко А. В., Мельникова Ю. В., Духно Н. А., Борисова С. В., Мамонова М. В., Мельников В. С., Опёнышев О. С., Петров Ю. И., Харламова Ю. А. Транспортное право: Учебник / 2-е изд., пер. и доп. – Сер. 73 Бакалавр и специалист. – М.: Юрайт, 2019. – 379 с.
10. Землин А. И., Тимонина И. В., Химич Т. М., Филиппова М. Ю., Коржин В. М., Расулов А. В., Гоц Е. В., Землина О. М., Матвеева М. А., Пищелко А. В., Эфендиев Т. С., Мельникова Ю. В. Правовое обеспечение профессиональной деятельности для транспортных специальностей: Учебник / 3-е изд., пер. и доп. – Сер. 68. Профессиональное образование. – М.: Юрайт, 2019. – 478 с.
11. Артамонова С. Н., Гоц Е. В., Землин А. И., Землина О. М., Козлов В. В., Мамонова М. В., Матвеева М. А., Мельникова Ю. В., Пищелко А. В., Расулов А. В., Соколова Е. В., Филиппова М. Ю. Актуальные проблемы правового обеспечения профессиональной деятельности: Учебник / Отв. ред. А. И. Землин. Гриф УМО ВО. – М.: Юрайт, 2020. – 459 с.
12. Клёнов М. В., Холиков И. 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: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-3-180-191>.
13. Жданов К. В., Холиков И. В. Болезнь, вызываемая вирусом Эбола: от теории к практике // Журнал инфектологии. – 2015. – № 1. – С. 5–14. [Электронный ресурс]: <https://journal.niidi.ru/jofin/article/view/368/365>. Доступ 24.11.2020.
14. Холиков И. В. Правовое обеспечение международного сотрудничества в области медицины и здравоохранения в условиях чрезвычайных ситуаций: Монография. – М.: Истоки, 2007. – 260 с.
15. Bukhtiyarov, I. V., Rubtsova, N. B., Kholikov, I. V. Occupational Health in Russia // Трудовая медицина и работоспособность. София, Болгария, 2018, No. 3, pp. 46–57.
16. Sazonova, K. L., Kholikov, I. V. The Ebola Response Team Deployment in the Guinea Republic: Organizational, Ethical, Legal Issues and a Problem of Responsibility. *Ethical Challenge for Military Health Care Personnel*. Ed. by D. Messelken and D. Winkler. New York, 2018, pp. 38–51. ●

Информация об авторе:

Дамаскин Олег Валерьевич – заслуженный юрист Российской Федерации, доктор юридических наук, профессор, главный научный сотрудник Института государства и права Российской академии наук, Москва, Россия, dov39@mail.ru.

Рецензия поступила в редакцию 26.03.2021, принята к публикации 25.06.2021.

АВТОРЕФЕРАТЫ ДИССЕРТАЦИЙ

*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/10.30932/1992-3252-2021-19-3-16>

Кудрявцев А. Н. Учёт структурных разрушений неукрепленного каменного материала оснований при проектировании дорожных одежд / Автореф. дис... канд. техн. наук. – М.: МАДИ, 2021. – 22 с.

Цель диссертационной работы: разработка расчётной модели учёта структурных разрушений и методики подбора неукрепленного каменного материала оснований при проектировании дорожных одежд.

Научная новизна состоит в том, что в разработанной методике, в отличие от существующих методов проектирования дорожных одежд, возможен непосредственный учёт таких важных характеристик каменного материала оснований, как: марка по дробимости, марка истираемости и морозостойкости. Разработка подобной методики стала возможной благодаря учёту в усовершенствованной расчётной модели процессов разрушения и переупаковки неукрепленного каменного материала в основаниях дорожных одежд на протяжении их срока эксплуатации.

По результатам выполненного анализа установлены причины и факторы разрушения неукрепленного каменного материала в основаниях дорожных одежд. Определено, что большинство моделей для прогнозирования остаточных осадков в слоях оснований, как правило, не предназначались для задач конструирования и расчёта дорожных одежд.

Теоретически доказано влияние марки каменного материала по дробимости, марки по истираемости, марки по морозостойкости, среднего диаметра частиц каменно-

го материала и технологии устройства слоя основания из неукрепленного каменного материала на величину остаточной осадки.

Выполненные исследования позволили разработать расчётную модель учёта структурных разрушений каменных материалов, позволяющую определять требуемые характеристики неукрепленного каменного материала при проектировании дорожных одежд. Определены граничные условия применения данной расчётной модели.

Установлена взаимосвязь марок каменного материала по дробимости и по истираемости, что позволило для целей проектирования дорожных одежд объединить эти показатели интегральной характеристикой качества каменного материала. Разработана методика определения расчётного модуля упругости слоя основания в зависимости от его остаточной пористости и марки по дробимости каменного материала. Определены значения модулей упругости для слоёв оснований, устроенных по способу заклинки с учётом неоднородной и неравномерной структуры по толщине слоя. Уточнены значения модулей упругости слоёв, устроенных из рационально-подобранных смесей для различных марок каменного материала по дробимости. Установлено, что рационально-подобранные смеси обладают равномерной плотностью по толщине и большей стабильностью на длительном отрезке времени по сравнению с основаниями, устроенными по способу заклинки. Предложено назначать физико-механические характеристики неукрепленного каменного материала оснований при проектировании дорожных одежд в зависимости от суммарного числа приложений расчётной нагрузки.

Смоделирован процесс нагружения каменного материала в процессе эксплуатации автомобильных дорог с помощью сконструированной и запатентованной установки для динамических испытаний оснований дорожных одежд. Экспериментальные исследования позволили оценить механизмы изменения гранулометрического состава каменного материала в основаниях дорожных одежд с образованием мелких фракций и накопления необратимых осадков от циклических нагружений.



Разработаны практические рекомендации по выбору неукрепленного каменного материала и оптимальной области его применения в основаниях при проектировании дорожных одежд. При сопоставлении различных конструкций дорожных одежд с учётом дисконтированных затрат установлено, что более эффективными являются варианты, запроектированные в соответствии с предлагаемой в настоящей работе методикой подбора неукрепленного каменного материала. При этом экономия к концу срока службы дорожных одежд составляет до 18 % в зависимости от вида и состава выполняемых ремонтных мероприятий.

05.23.11 – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей.

Работа выполнена и защищена в Московском автомобильно-дорожном государственном техническом университете (МАДИ).

Маковецкий О. А. Расчёт и конструирование искусственного основания «структурный геотехнический массив» / Автореф. дис... докт. техн. наук. – М.: РУТ, 2021. – 38 с.

Цель работы заключается в создании теории расчёта и конструирования искусственно улучшенного основания с заданными физико-механическими характеристиками – «структурного геотехнического массива», оптимально учитывающего геотехнические и градостроительные условия площадки строительства.

Научная новизна работы состоит в развитии теории расчёта напряженно-деформированного состояния массива грунта вертикально армированного жёсткими элементами, выполненными по технологии струйной цементации грунта.

На основе выполненного комплекса экспериментальных и теоретических исследований обосновано использование технологии струйной цементации грунта в слабых водонасыщенных грунтах для устройства структурных геотехнических массивов с формированием жёстких армирующих элементов с задаваемыми геометрическими

размерами и физико-механическими характеристиками грунто-цементного композита – «грунтобетона»:

- экспериментально и теоретически определена зависимость радиуса армирующего элемента и физико-механических характеристик грунтобетона от назначаемых технологических параметров струйной цементации грунта;

- статистической обработкой данных более 800 испытаний образцов грунтобетона, выбуренного из опытных армоэлементов, получены основные физико-механические характеристики материала: прочность на сжатие, модуль деформации и корреляционные зависимости между ними;

- на основе впервые полученных экспериментальных данных предложена реологическая модель грунтобетона, описывающая с использованием теории наследственного старения развитие процессов ползучести при различных «возрастах» нагружения.

Разработаны теоретические основы преобразования механических свойств слабых водонасыщенных грунтов при выполнении вертикального армирования жёсткими грунтобетонными элементами и устройстве промежуточного гибкого ростверка:

- предложена конструкция основания – «структурный геотехнический массив», построены физическая и расчётная модели силового сопротивления, для проектирования его оптимальной конструкции;

- на основе представления геомассива как твёрдого тела со структурой, получены зависимости влияния толщины и механических характеристик гибкого ростверка на распределение давлений между армирующими элементами и окружающим грунтом;

- решена задача определения эффективных деформационных характеристик геомассива как композитного трансверсального изотропного среды, экспериментально подтверждена зависимость интегрального модуля деформации от процента армирования;

- поставлена и решена задача определения скорости развития и относительной деформации ползучести геомассива в зависимости от изменения вязкости

грунтобетона в процессе набора им прочности;

– на основе численного моделирования получены зависимости, определяющие эффективную скорость распространения поперечной сейсмической волны и снижение величины ускорения сейсмических колебаний в центре площадки по отношению к исходному состоянию, в зависимости от конструктивных характеристик геомассива.

Выполнена калибровка полученных теоретических решений по данным штамповых испытаний геомассива статическими нагрузками и обоснованы условия применения модели (*Hardening-Soil*) для прогнозирования интегральных механических характеристик «структурного геотехнического массива». Сравнение НДС структурного геотехнического массива, полученного в ходе компьютерного моделирования по предложенным теоретическим зависимостям и опытных данных геодезических наблюдений за развитием осадок строящихся зданий, показали их хорошее качественное и количественное совпадение (превышение расчётных осадок над опытными составляет 15...25 %).

В целом результаты экспериментально-теоретических исследований позволяют получить решение научной проблемы, имеющей важное хозяйственное значение – создание теории расчёта и конструирования искусственного основания с заданными физико-механическими характеристиками – «структурный геотехнический массив».

05.23.02 – Основания и фундаменты, подземные сооружения.

Работа выполнена и защищена в Российской государственной академии наук и транспорта.

Присухина И. В. Машинная идентификация режимов работы рельсовых цепей и кодовых сигналов АЛСН / Автореф. дис... канд. техн. наук. – СПб.: ПГУПС, 2021. – 18 с.

Целью исследования является совершенствование способов определения режимов работы рельсовой цепи и дешифрации кодовых сигналов автоматической локомотивной сигнализации непрерывного действия (АЛСН).

В результате проведённых в рамках диссертационной работы исследований разработана методика синтеза обучающей выборки, требуемой для машинной идентификации режимов работы рельсовой цепи. Методика позволяет рассчитывать комплексные значения напряжений и токов на входе и выходе рельсовой цепи при различном сочетании внешних воздействий (изменяющиеся сопротивление изоляции рельсовой линии, координата поезда шунта, координата обрыва рельсовой нити) в нормальном, шунтовом и контрольном режимах работы.

Разработаны алгоритмы машинной идентификации режимов работы рельсовой цепи с применением логистической регрессии, полиномиального преобразования Эрмита и метода опорных векторов. Алгоритмы позволяют идентифицировать каждый из режимов работы рельсовой цепи (в том числе и контрольный).

Разработана методика синтеза обучающей выборки, требуемой для машинной идентификации кодовых сигналов АЛСН. Методика позволяет синтезировать осциллограммы кодовых сигналов («З», «Ж», «КЖ») с различными типами искажений, характерных для реальных условий эксплуатации рельсовых цепей (импульсные помехи, искажения формы, влияние приёмного оборудования локомотива и нестабильных свойств рельсовой линии).

Разработаны системы машинной идентификации кодовых сигналов АЛСН с синхронизацией осциллограмм, с преобразованием Фурье и асинхронной обработкой осциллограмм. Разработанные системы позволяют корректно выполнять идентификацию кодовых сигналов в условиях влияния дестабилизирующих воздействий.

05.22.08 – Управление процессами перевозок.

Работа выполнена и защищена в Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I.

Проневич О. Б. Автоматизированная система управления пожарными рисками при обеспечении безопасности движения на железнодорожном транспорте



Целью диссертации является снижение количества опасных состояний, приводящих к пожарам и повышение безопасности движения за счёт автоматизации процессов управления пожарными рисками объектов инфраструктуры и подвижного состава железнодорожного транспорта (ЖДТ).

Обоснована целесообразность разработки и использования алгоритмов интеллектуализации диагностики неисправностей объектов ЖДТ, приводящих к повышению пожарного риска. Анализ состояния проблемы оценки и управления пожарными рисками на объектах ЖДТ, видов автоматизированных систем управления пожарными рисками в России и странах Европы позволил выявить необходимость разработки методов и алгоритмов, обеспечивающих возможность прогнозирования вероятности пожара на основе технических характеристик объектов железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава.

Разработаны классификаторы неисправностей объектов ЖДТ, дестабилизирующих пожарную безопасность, а также контрольно-оценочные карты для интеллектуализации их диагностики в рамках автоматизированного аудита пожарных рисков на постах электрической централизации, тяговом подвижном составе, информационно-вычислительных центрах ОАО «РЖД», тяговых подстанциях ОАО «РЖД», железнодорожных вокзалах.

Разработан метод математического моделирования пожарного риска объекта ЖДТ на стадии его эксплуатации. Метод основывается на результатах статистического анализа пожаров и отказов на объектах ЖДТ. Он заключается в формализации описания процесса изменений состояний объекта ЖДТ с помощью ориентированного графа состояний, моделировании развития событий, приводящих к пожару.

Предложен способ определения вероятности перехода объекта в опасные состояния из выявленного неопасного состояния, обеспечивающий возможность определения априорной вероятности появления пожара на основе информации о начальном и последующих возможных состояниях объекта ЖДТ, выявленных по результатам аудита.

Разработаны способ и алгоритмы автоматизированного диагностирования пожарных рисков потенциальных источников огня (ПИО) на объектах инфраструктуры и подвижного состава, впервые позволяющие собирать исходные данные для оценки пожарных рисков без привлечения сотрудников надзорных органов.

Разработаны методики оценки пожарных рисков объектов инфраструктуры и подвижного состава ЖДТ. Эти методики реализованы в ОАО «РЖД» в системе управления пожарными рисками.

Создан мобильный программно-аппаратный комплекс, позволяющий проводить аудит пожарной безопасности и оценку пожарного риска на стадии эксплуатации объектов инфраструктуры и подвижного состава ЖДТ, обеспечивающий возможность одновременного проведения массовых расчётов пожарных рисков.

Проведены расчёты пожарного риска для 407 стационарных объектов ОАО «РЖД». По результатам диагностирования пожароопасных состояний выявлен нежелательный уровень пожарного риска для 25 (из 365) железнодорожных вокзалов, 19 (из 32) постов ЭЦ, 4 (из 10) тяговых подстанций.

Проведены аудит и оценка пожарного риска на 806 локомотивах, по результатам которых устранено 23051 пожароопасное состояние. В Дальневосточной дирекции тяги недопустимый уровень пожарного риска был выявлен для 207 тепловозов ТЭ10, у 14 тепловозов установлен нежелательный уровень пожарного риска. Для 585 электровозов Красноярской дирекции тяги был установлен недопустимый уровень пожарного риска.

В качестве рекомендаций и перспективы дальнейшей разработки темы диссертации предлагается повышение точности и достоверности прогнозирования пожарных рисков объектов ЖДТ путём обработки больших данных о пожароопасных состояниях объектов транспорта методами и алгоритмами искусственного интеллекта *Data Mining* и *Data Science*.

05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (транспорт).

Работа выполнена и защищена в Российском университете транспорта.

Скоробогатов М. Э. Средства повышения эффективности автоматизированного управления движением поездов на участках, электрифицированных переменным током. / Автореф. дис... канд. техн. наук. – Иркутск: ИрГУПС, 2021. – 18 с.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности автоматизированного управления движением поездов путём модернизации устройств автоматической локомотивной сигнализации непрерывного действия (АЛСН) на участках, электрифицированных переменным током.

Проанализированы эксплуатационные последствия сбоев работы локомотивных устройств АЛСН и установлено, что в рамках технологического процесса управления движением поездов на участках, электрифицированных переменным током, основным негативным последствием является снижение участковой скорости на 3,6 км/ч.

По результатам обработки указанной выше совокупности экспериментальных данных уточнён механизм воздействия стационарных и случайных помех и оценены характеристики помех, действующих на горно-перевальном участке, электрифицированном переменным током. Так, пороговое отношение сигнал/помеха при действии стационарной гармонической помехи на полезный сигнал числового кода с частотой 25 Гц составляет 0,681, для частоты полезного сигнала 75 Гц данная величина равна 0,592. Пороговое отношение сигнал/помеха при действии случайной импульсной помехи на полезный сигнал числового кода с частотой 25 Гц составляет 0,805, для частоты полезного сигнала 75 Гц данная величина равна 0,478.

Разработана методика определения работоспособности локомотивных устройств АЛСН в условиях действия стационарных гармонических и случайных импульсных помех, в основе которой лежит критерий оценки длительности первого интервала между импульсами сигнала числового кода.

Предложен метод однополосной цифровой фильтрации для сигналов числового кода автоматической локомотивной сигнализации и сформулированы требования

к узкополосному локомотивному цифровому фильтру. Показано, что для осуществления узкополосной цифровой фильтрации сигнала числового кода с допустимыми искажениями формо-временных параметров сигнала необходимо обеспечить: частоту дискретизации не менее 500 Гц, уровень подавления в полосе задерживания не менее 30 дБ, эллиптическую аппроксимирующую функцию, а также бесконечную импульсную характеристику.

Предложены научно-технические рекомендации, позволяющие снизить степень негативного влияния основных причин сбоев на устройства АЛСН. Для снижения влияния асимметрии обратного тягового тока (ОТТ) на работу локомотивных устройств АЛС следует исключить попадание поезда на участок безусловного сбоя в том случае, когда на соответствующем горно-перевальном участке вероятного сбоя находится тяжеловесный поезд. Причём данная рекомендация относится как к поездам, движущимся по одному пути, так и по соседним. Необходимо пересмотреть алгоритмы проверки аппаратуры АЛС в условиях локомотивных депо и создать принципиально новые технические средства на современной элементной базе, позволяющие контролировать параметры аппаратуры АЛС при воздействии искусственных помех. Они должны предоставлять возможность оценки индивидуальной помехоустойчивости аппаратуры АЛС конкретного локомотива в соответствии с выбранными критериями. Предложен цифровой узкополосный фильтр для выделения сигналов АЛСН, который следует устанавливать между приёмными локомотивными катушками АЛСН и локомотивным усилителем. Применение данного фильтра позволит модернизировать существующую релейную систему АЛСН до необходимого уровня помехоустойчивости, что даст больший экономический эффект по сравнению с полномасштабным внедрением микропроцессорных устройств КЛУБ или БЛОК.

05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (транспорт).

Работа выполнена и защищена в Иркутском государственном университете путей сообщения (ИрГУПС).





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/10.30932/1992-3252-2021-19-3-17>

Агешкина Н. А. Организация пассажирских перевозок и обслуживание пассажиров (железнодорожный транспорт): Учебник. – М.: Ай Пи Ар Медиа; Саратов: Профобразование, 2021. – 432 с. ISBN 978-5-4497-0610-2.

Бродецкий Г. Л., Герами В. Д., Шидловский И. Г. Оптимизация грузоперевозок с учётом отсрочек платежей. Эффективные решения при управлении запасами: Монография. – М.: Инфра-М, 2021. – 288 с. ISBN 978-5-16-016809-8.

Буянова Л. Н., Григорян М. Г. Проблемы управления производительностью труда на водном транспорте: Монография. – СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2021. – 186 с. ISBN 978-5-9509-0437-0.

Варфоломеев М. С. Специальная технология литья в авиационной промышленности: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МАИ, 2021. – 86 с. ISBN 978-5-4316-0782-0.

Веремеенко Е. Г. Транспортная логистика грузовых систем: Учеб. пособие. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2021. – 75 с. ISBN 978-5-7890-1919-1.

Горина А. П., Макаркин Н. П., Корнеева Н. В. [и др.] Экономика кластеров: Учеб. пособие / Под общ. ред. проф. Н. П. Макаркина. – Саранск: Изд-во Мордовского университета, 2021. – 86 с. ISBN 978-5-7103-4140-7.

Дмитриев А. В. Цифровые информационные технологии в экосистемах транспортно-логистического обслуживания: Монография. – СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2021. – 159 с. ISBN 978-5-7310-5328-0.

Захарова Н. А. Транспортно-экспедиционная деятельность: Учебник. – М.: Ай Пи Ар Медиа; Саратов: Профобразование, 2021. – 400 с. ISBN 978-5-4497-0796-3.

Иванов И. А., Урушев С. В., Воробьев А. А., Кононов Д. П. Метрология, стандартизация и сертификация на транспорте: Учебник – 4-е изд., перераб. – М.: Академия, 2021. – 330 с. ISBN 978-5-4468-9949-4.

Смоляк К. А., Верхоф Э. Т. Экономика городского транспорта: Учебник / Пер. с англ. под науч. ред. К. Сосунова. – М.: Дело, 2021. – 398 с. ISBN 978-5-85006-326-9.

Коврегин В. Н., Коврегина Г. М. Технология имитационного компьютерного моделирования бесплатформенных инерциальных систем летательных аппаратов. – СПб.: ГУАП, 2021. – 55 с.

Комов М. С. Формирование единого транспортного пространства в Евразийском экономическом союзе: проблемы и перспективы: Монография. –

М.: МАКС Пресс, 2021. – 127 с. ISBN 978-5-317-06554-6.

Лебедев Е. А., Миротин Л. Б. Фидерные перевозки грузов и их мультипликативный эффект: Монография / Под общ. ред. Л. Б. Миротина. – М.: Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. – 190 с. ISBN 978-5-9729-0606-2.

Некрасов А. Г., Синицына А. С. Цифровизация интегрированных транспортно-логистических систем: Монография. – М.: ВИНТИ РАН, 2021. – 275 с. ISBN 978-5-902928-90-4.

Огнев А. С., Николаева Л. П., Лихачева Э. В. Человеческий фактор в обеспечении безопасности авиационной деятельности. Управление ресурсами экипажа (CRM): Тест-тренажёрный практикум. – М.: Спутник+, 2021. – 57 с. ISBN 978-5-9973-5969-0.

Павлищева Н. А. Транспортно-экспедиционная деятельность (железнодорожный транспорт): Учебник. – М.: Ай Пи Ар Медиа; Саратов: Профобразование, 2021. – 488 с. ISBN 978-5-4497-0603-4.

Подсорин В. А., Иванова Е. А., Флягина Т. А. Экономические аспекты развития пассажирских перевозок в дальнем следовании: Монография. – М.: Инфра-М, 2021. – 201 с. ISBN 978-5-16-016851-7 (print).

Санатов Д. В., Абакумов А. М., Айдемиров А. Ю. [и др.] Перспективы развития рынка электротранспорта и зарядной инфраструктуры в России: Экспертно-аналитический доклад / Под ред. А. И. Боровкова, В. Н. Княгинина. – СПб.: Политех-Пресс, 2021. – 44 с. ISBN 978-5-7422-7238-0.

Тархов С. А., Мерзлов Д. С. Пассажирский транспорт Таджикистана: [with english summary]. – Краснодар: Традиция. – 231 с. ISBN 978-5-91883-387-2.

Терёшина Н. П., Подсорин В. А., Кожевников Ю. Н., Данилина М. Г. Экономика железнодорожного транспорта: Учебник / Под ред. Н. П. Терёшиной, В. А. Подсорина. – 2-е изд. – Саратов: Профобразование, 2021. – 365 с. ISBN 978-5-4488-1298-9.

Харламова Ю. А. Борьба за Евразию в фокусе транспортных геостратегий: Монография. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Инфра-М, 2021. – 218 с. ISBN 978-5-16-016842-5.

Ходош М. С., Бачурин А. А., Спирин И. В., Савосина М. И. Организация сервисного обслуживания на автомобильном транспорте: Учебник / Под ред. М. С. Ходоша. – 4-е изд., испр. – М.: Академия, 2021. – 286 с. ISBN 978-5-4468-9715-5.

Цевелев А. В. Стратегическое развитие материально-технического обеспечения железнодорожного транспорта: Монография. – М.: Инфра-М, 2021. – 227 с. ISBN 978-5-16-016594-3.

Чижков Ю. В. Арктическая морская транспортная система. – СПб.: Медиапайр, 2021. – 95 с. ISBN 978-5-00110-199-4.

Шишкарев С. Н., Торкунов А. В., Сушенцов А. А. и др. Глобальные вызовы для международного транспорта: угрозы и возможности / Под ред. А. А. Сушенцова. – М.: Дело, 2021. – 312 с. ISBN 978-5-6045392-0-0.

Шубинский И. Б., Замышляев А. М. Управление техническими активами железнодорожного транспорта: Монография. – М.: ВИНТИ, 2021. – 247 с. ISBN 978-5-902928-89-8.

Составила Н. Олейник ●



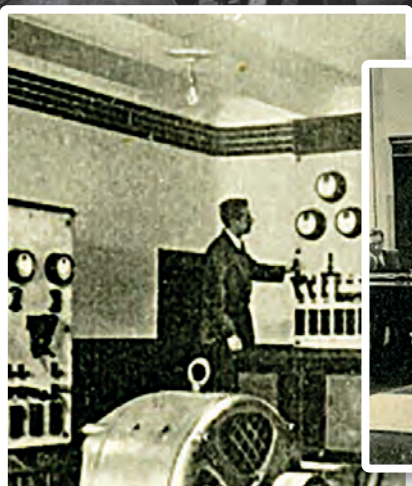
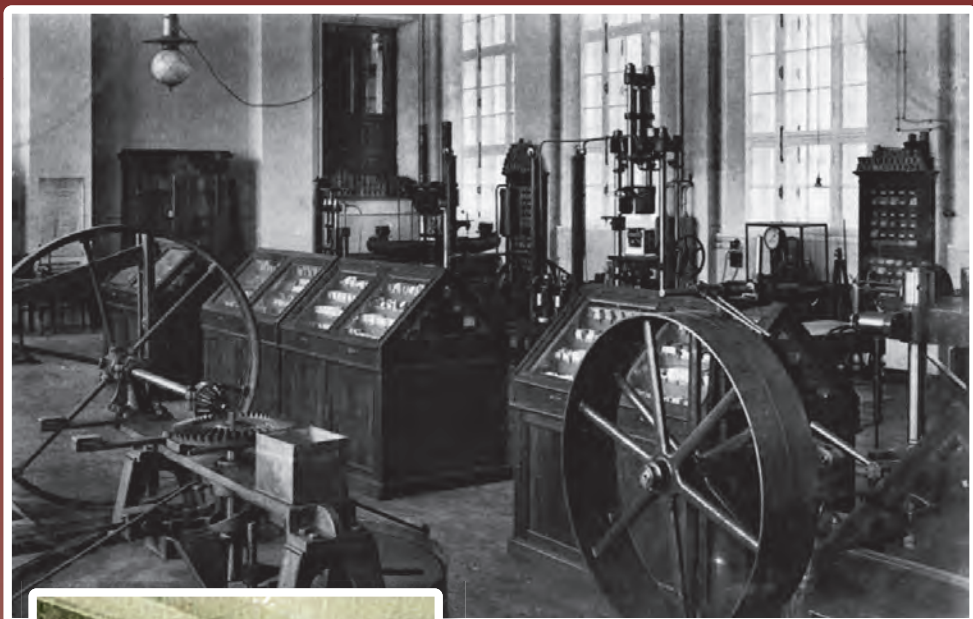
125 ЛЕТ РОССИЙСКОМУ УНИВЕРСИТЕТУ ТРАНСПОРТА

Рост железнодорожной сети России во второй половине XIX века потребовал расширения подготовки инженеров железнодорожного транспорта. Единственный в стране институт инженеров путей сообщения в Санкт-Петербурге не мог в полной мере решить эту проблему. Нехватка инженеров-железнодорожников особенно почувствовалась с началом строительства Великого Сибирского пути. Поэтому Министерство путей сообщения внесло в Правительство предложение о создании ещё одного высшего учебного заведения, которое готовило бы инженеров для нужд ведомства.

Официально было объявлено: «Государь Императора в непрестанных заботах о просвещении России в 23 день мая настоящего года Высочайше повелеть соиз-

волил учредить в Москве Московское Инженерное Училище, а 24 мая того же месяца в Москве Всемилостивейше повелел именовать это училище – Императорским Московским инженерным училищем».

2 июля 1896 г. было опубликовано сообщение о новом Училище: «Императорское Московское Инженерное Училище ведомства путей сообщения есть высшее учебное заведение, имеющее целью специальное образование лиц, посвящающих себя преимущественно практической деятельности по устройству и эксплуатации путей сообщения». И далее сообщалось, что в Училище преподаются высшая математика, начертательная геометрия, топография и геодезия, механика теоретическая, строительная и прикладная,



физическая геология, гражданская архитектура, строительное искусство, законоведение, черчение.

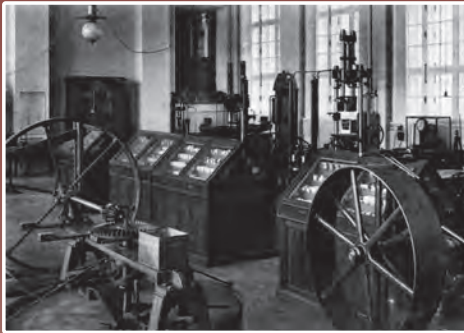
Открытие Училища по распоряжению управляющего министерством путей сообщения состоялось в субботу 14 сентября 1896 г.

В конце августа 1913 года решился вопрос о преобразовании Училища в Институт путей сообщения. Вскоре после начала учебного года, 6 сентября 1913 г., состоялось первое торжественное заседание совета Императорского Московского Института путей сообщения. Таким образом, 1 сентября 1913 г. можно считать вторым днем рождения нашего ведущего транспортного вуза...

Фотографии из Музея МИИТ дают представление о том, как выглядели ла-

боратории университета в период его создания.

Сегодня в состав Российского университета транспорта входят 6 институтов (управления и цифровых технологий; транспортной техники и систем управления; пути, строительства и сооружений; международных транспортных коммуникаций; экономики и финансов; юридический), а также 6 академий (Российская академия путей сообщения; Российская открытая академия транспорта; Академия водного транспорта; Академия базовой подготовки; Академия «Высшая инженерная школа»; Академия интеллектуальных транспортных систем в автомобильно-дорожном комплексе), 5 колледжей, Гимназия, Научно-исследовательский институт транспорта и транспортного строительства, Центр «Технопарк». ●



125th ANNIVERSARY OF THE RUSSIAN UNIVERSITY OF TRANSPORT

The growth of the railway network of Russia in the second half of the 19th century required the enhancement of the training institutions for railway engineers. The only one institute of railway engineers in St. Petersburg could not fully solve this problem. The shortage of railway engineers might affect the construction of the Great Siberian Railway. Therefore, the Department of Railways submitted to the government a proposal to create another higher educational institution that would train engineers for the needs of the department.

Officially it was announced: «The Emperor guided by unceasing concerns about the enlightenment of Russia on the 23rd day of May of 1896 stated on the establishment of the Engineering School in

Moscow, and on May 24 of the same month in Moscow all-mercifully ordered to call this school the Imperial Moscow Engineering School».

On July 2, 1896, an announcement was published detailing the information about the new School: «The Imperial Moscow Engineering School of the Department of Railways is a higher educational institution aimed at special education of persons who devote themselves mainly to practical activities in the construction and operation of transportation routes». And further it was reported that the School teaches higher mathematics, descriptive geometry, topography and geodesy, theoretical mechanics, construction and applied, physical geology, civil architecture, building art, law, drawing.



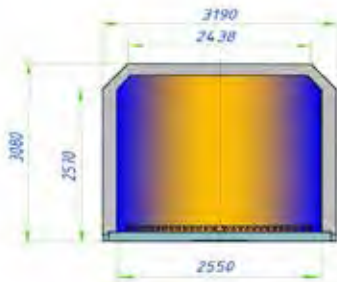
The opening of the School by order of the Administrator of the Department of Railways took place on Saturday, September 14, 1896.

At the end of August 1913, the issue of transforming the School into the Institute of Railways was decided. Shortly after the beginning of the academic year, on September 6, 1913, the first solemn meeting of the Council of the Imperial Moscow Institute of Railways was held. Thus, September 1, 1913, can be considered the second birthday of our leading transport university...

Photos provided by the MIIT Museum give an idea of what the university's laboratories looked like at the time of its creation.

Today, the Russian University of Transport comprises 6 institutes (namely, those of management and digital technologies; transport engineering and control systems; tracks, construction and structures; international transport communications; economics and finance; legal), as well as 6 academies (Russian Academy of Railways; Russian Open Academy of Transport; Academy of Water Transport; Academy of Basic Training; Academy – Higher School of Engineering; Academy of Intelligent Transport Systems in automobile and road industry), 5 colleges, Gymnasium, Research Institute of Transport and Transport Construction, Centre Technopark. ●

T



ISOTHERMAL ROLLING STOCK 148

Refrigerated wagons, containers, demountable bodies are of different types while their design should solve one and the same task of making their operation efficient.



NEW MATERIALS 158

Using polymers in tribo-pairs of rolling stock: the results of the study.

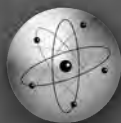


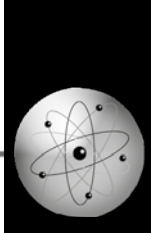
WEIGHT OF MINING DUMP TRUCK 167

Could we measure the weight of mining dump truck with magnetic field intensity?



SCIENCE AND ENGINEERING





Methodology of Research on the Demand for Development of Transport Infrastructure and Rolling Stock for Perishable Goods Transportation



Oleg A. Voron

Rostov State Transport University (RSTU), Rostov-on-Don, Russia.

✉ rgups_voron@mail.ru.

Oleg A. VORON

ABSTRACT

In the context of globalisation of economic relationships, intensification of transportation and technological solutions, the methodology of research and development of transport infrastructure requires improvement and adaptation to dynamically changing conditions of the transportation market.

The objective of the work is to formalise and to develop a methodology for studying transport infrastructure, including specialised isothermal rolling stock. The initial data on cargo turnover were processed by the methods of mathematical statistics, and the technical parameters of innovative isothermal rolling stock were substantiated using the methods of T. Saaty analytic hierarchy process, expert assessment, and update engineering design process.

The article provides an analysis of the cargo turnover of perishable goods transported by railway refrigerated transport in Russia in terms of volumes, types of rolling stock, and origin. The main origin-destination cargo flows are presented by types of transportation (domestic, transit, export, import transport operations). It has been determined that key factors in development of isothermal rolling stock for transportation of perishable goods in the transport system of the country refer to transportation of meat, fish, beer, soft drinks, juices in the segment of domestic transportation. The analysis shows that there are no structural and quantitative shifts in terms of types of transportation and types of cargo.

The strategy for development of vehicles for transportation of perishable goods and the methodology are presented in a block diagram, in sections: «statement of the research problem», «decision-making stages», «decision implementation methods and algorithms». It is shown that the problem includes not only development of stationary railway infrastructure and of stages in development of isothermal rolling stock, but also the need to solve organisational, technical, technological, regulatory, and legal problems, as well as tariff regulation.

The issues of methodology for designing an innovative isothermal rolling stock are considered referring to possible prospects for its development and areas of operation, as well as to a set of engineering and technological solutions. The study of linear dimensions and useful section of the loading space of various types of isothermal bodies shows the advantage of wagons and swap bodies in comparison with large-capacity refrigerated containers.

It is proposed to design a prototype of innovative isothermal rolling stock on the basis of a universal isothermal swap body, configured with various types of refrigerating equipment with specified technical parameters that best meet the requirements of the modern transportation market. The areas of possible use of various types of isothermal rolling stock are analysed considering long-term forecasts for development of agricultural, fishing and processing industries.

Keywords: transport, transport infrastructure, perishable cargo, research methodology, transport system, isothermal rolling stock, large-capacity refrigerated container, swap body.

For citation: Voron, Oleg A. Methodology of Research on the Demand for Development of Transport Infrastructure and Rolling Stock for Perishable Goods Transportation. *World of Transport and Transportation*, 2021, Vol. 19, Iss. 3 (94), pp. 148–157. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-1>.

**The full 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 key feature of transport, as of a supporting sector of the economy, requires improvement of methodology of research and development of *transport infrastructure (TI)* in the context of globalisation of economic relations, intensification of transport and technological solutions, innovative nature of ongoing changes, transformation of cargo flows associated with changes in volume, as well as in specialisation of cargo traffic and its directions. Macroeconomic changes in the external environment affecting transport and technological solutions in the system of managing cargo flows can be divided into the following groups:

- Quantitative changes in the volume of freight traffic in the main directions.
- Changes in the technology of transportation management, and requirements for delivery time, cargo safety, price parameters.
- Changes in the institutional environment regarding transport services, operators of the transport services market, vehicles, and technologies of the transportation process.
- Current conditions and development trends of TI by mode of transport, of vehicle fleet, and of their characteristics.
- Geopolitical and national factors influencing development of TI.
- Mutual competition (interdependence) of operations of modes of transport for resources (capacity) of infrastructure, and others.

Localisation of the problem of TI development for a specific group of goods with specific operations management conditions, requirements for a fleet of vehicles, for freight terminal complexes for servicing cargo flows and vehicles along their route transforms standard methodological approaches to the study of transport systems. Such goods in the *transport system (TS)* of a country refer to the cargo (products, goods) requiring temperature-controlled transportation, namely to *perishable goods (PG)*.

The need for a separate consideration of the methodology for development of PG TI in Russia is also associated with significant institutional shifts in domestic practices of PG transportation, with a decrease in investment activity for development of specialised isothermal rolling stock (IRS) and vehicles for PG transportation in recent decades. Besides, the study of the problem requires considering the impact of the transport infrastructure on ensuring the food

security in view of the country's spatial dimensions.

Works [1–5] address versatile approaches to development of concepts, models, and mechanisms of logistics management, of sectoral logistics transport systems as well as the issues of implementation of various innovative projects particularly regarding international transport corridors. The work [3] addresses dynamic territorial transport and logistics systems considered using the analysis of changes in the network elements and their subsequent management. The works [6; 7] show the growing significance of scenario forecasting of the need of large hubs in services of large systemically organised infrastructures and in interaction with sea transport. The efficiency and safety of the logistics transport system is considered in [8].

The *objective* of the study is to formalise and to develop a methodology for studying transport infrastructure, including specialised isothermal rolling stock. The initial data on cargo turnover were processed by the *methods* of mathematical statistics, and the technical parameters of innovative isothermal rolling stock were substantiated using the methods of T. Saaty analytic hierarchy process, expert assessment, and update engineering design process.

RESULTS

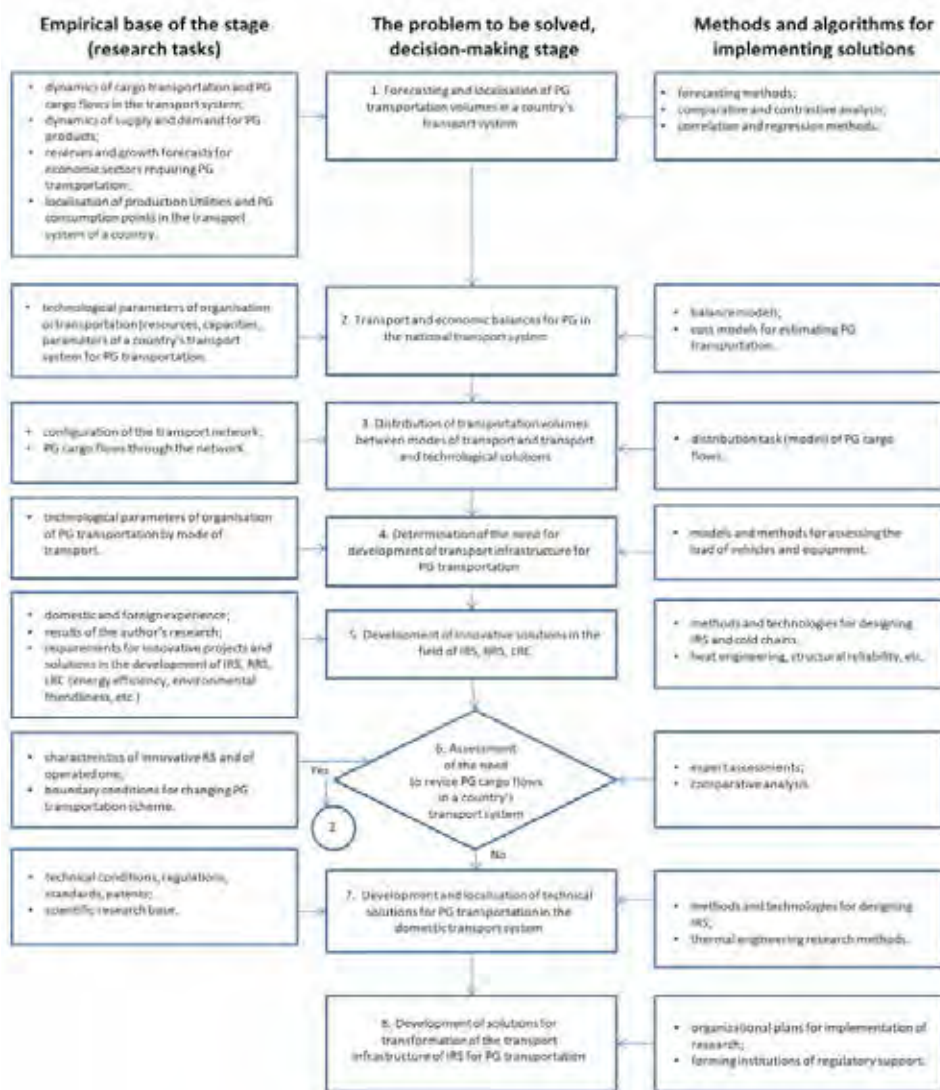
Methodological Scheme

The general methodological scheme for studying TI for PG transportation in a country's transport system is shown in Pic. 1. Forecasting and designing of transport and economic balances are key elements in development and implementation of such a strategic task.

Forecasting the volume of PG transportation, from the methodological standpoint of economic forecasting, should be based on a marketing analysis of the demand for PG from the point of view of their transportation. The segmentation of the market for each type of product, the complexity of considering this problem and obtaining adequate estimates are associated with the need to conduct marketing research for each type of product.

From the point of view of transportation (of solving issues of TI development), it is allowed to aggregate commodity flows based on the homogeneity of transportation technologies. These criteria for aggregation of cargo flows include the requirement regarding rolling stock used at each specific mode of transport.





Pic.1. General outline of the strategy for development of vehicles for PG transportation (compiled by the author). (RRS is used for refrigerated vans, wagons, rolling stock; LRC for large-capacity refrigerated containers – Translator's note).

In railway transport, PG is transported by different types of generally homogeneous *isothermal rolling stock (IRS)*. So, the solution of problems (1)–(3) (see Pic. 1) can be reduced to a general analysis of the dynamics of PG cargo flows. It should also be noted that the demand for transport infrastructure can be also assessed considering localisation according to IRS typology.

Analysis of the structure of PG transportation market by type of transportation and by type of rolling stock in Russia is shown in Pic. 2.

The analysis shows that there are no structural changes in the operated rolling stock

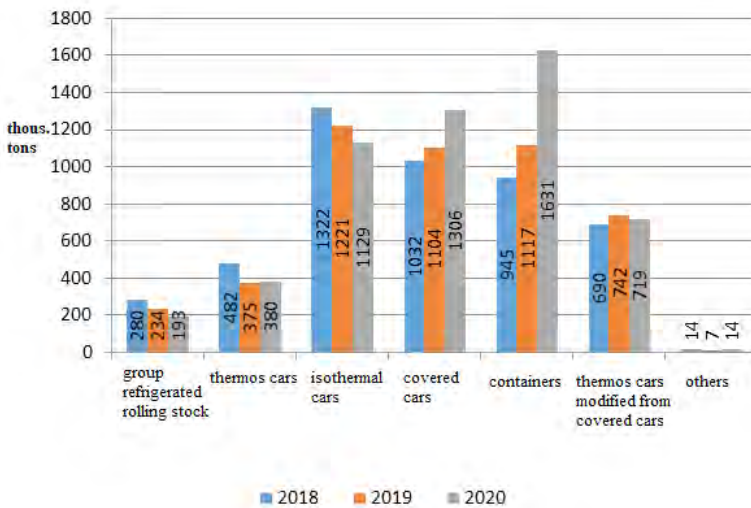
regarding types of transportation. The geographic localisation of PG shipments by rail in 2018–2020 in Russia is presented in Table 1 and Pic. 4.

Pic. 4 shows structure and dynamics of PG transportation by rail across the territory of the Russian Federation (columns show volumes of PG forwarded respectively in 2018, 2019, 2020 through main railways).

The analysis shows that high proportion of shipments on Oktyabrskaya, Moscow, North-Caucasian, West-Siberian railways is explained by the level of product consumption in the PG segment or in economic sectors.



Pic. 2. Dynamics of PG railway transportation market by type of transportation (segments of the transport services market) (author's development based on ASORPS [Association of the organisations of food industry] data).



Pic. 3. Rolling stock used for PG transportation by railways (according to ASORPS data).

As per types of PG, the largest share falls on fish products and beer, Pic. 5.

Thus, key factors influencing the development of IRS for PG transportation in within Russian transport system are associated with transportation of fish, beer, soft drinks, juices, meat in the domestic transportation segment which accumulates a significant share of the total volume of PG transported. East–West direction is predominant for transportation of those type of PG within the territory of the country. The average distance of transportation is estimated to be about 4–5 thousand km. The feasible possibilities of PG transportation within transport corridors are considered in works [5; 9], while methodology presented in

[10] can be used for a comparative assessment of efficiency criteria while planning a transport network.

From an environmental and economic standpoint, transportation over such distances requires an IRS of the refrigerated rolling stock (RRS) type, which provides a certain autonomy of transportation in relation to terminal service complex.

At the same time, the analysis of global practices of PG transportation over distances of up to 500–1000 km has shown the wide use of refrigerated containers with autonomous power supply. The current TI-related problems during transportation of fish were considered by the author in work [11].



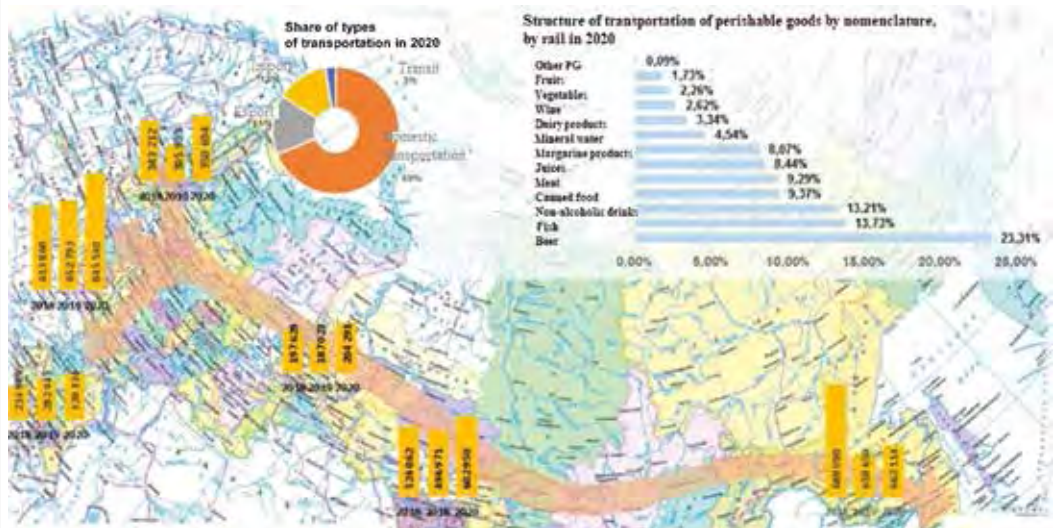


Fig. 4. Structure, directions, and dynamics of PG transportation by rail across the territory of the Russian Federation (columns show volumes of PG forwarded respectively in 2018, 2019, 2020 through main railways).

Development of Functional Systems of Innovative IRS

Currently, there are serious problems in operation of the entire TI as part of a continuous cold chain. They relate to both stationary objects (maintenance and equipment points, cargo terminals, and backup refrigerators with feeder tracks) and a specialised IRS.

Still operated, refrigerated five wagon groups (thermos wagons) were designed for the planned economy with completely different transportation logistics. The presence and functioning of a powerful agricultural industry in Azerbaijan, Armenia, Belarus, Georgia, Moldova, Ukraine, huge volumes of contracts for supply of imported food made possible long-term forecasts and ensured a relatively stable load of refrigerated wagon groups (refrigerated wagon groups and refrigerated block trains with different number of wagons). The technical parameters of the currently operated IRS were developed precisely based on these conditions for operation of the *continuous cold* (or cooling) *chain* (CCC). The peak of PG transportation was in 1988, when the volume of traffic exceeded 30 million tons. After that, a protracted decline began, primarily due to political reasons. Changed volumes, structure, regions of formation of cargo flows, reduction in the mass of shipment per wagon led to a serious transformation of routes and a systemic crisis of the transport services market [12].

In view of this, it is relevant to develop an innovative IRS, the technical features of which

meet the demand in the current transport market of PG transportation. The properties of IRS should meet consumer appeal, expansion of the scope of its operation, technical features improvement thanks to new engineering solutions and technologies adopted for its design, will allow transport companies to take a worthy place on the PG transportation market [16].

To substantiate technical parameters of innovative IRS, the author has previously [13; 14] used the T. Saaty analytic hierarchy process, the method of expert assessments, and the method of updating engineering design process. Possible options for development of various types of IRS, *large-capacity refrigerated containers (LRC)*, container delivery vehicles for PG transportation, analysis of their technical and economic characteristics were presented in [13; 14; 16; 17]. The nature of the relationship between the links of CCC with consumer, organisational and technical parameters, the main directions, and prospects for improving the functional subsystems of IRS are considered in [13].

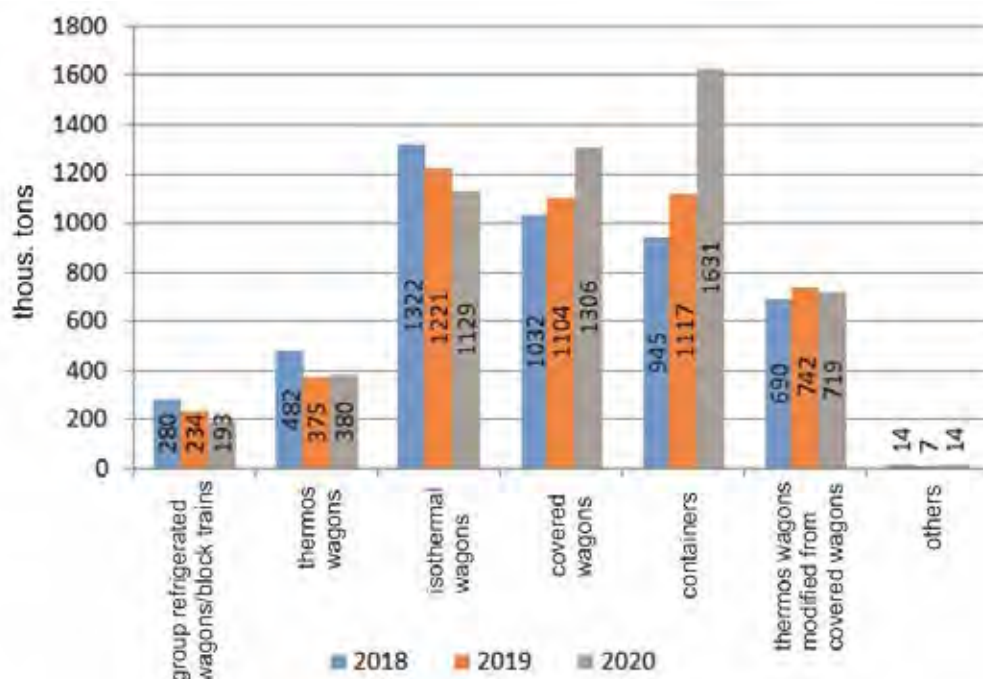
In accordance with the definition [15], innovative products include products, technological characteristics (functional features, design, capacity to carry out additional operations, as well as the composition of the materials and components used for their manufacturing), or intended use of which, are fundamentally new or significantly different as compared to similar previously manufactured products.

Table 1

PG forwarding, domestic transportation, per origin railways* (based on ASORPS data)

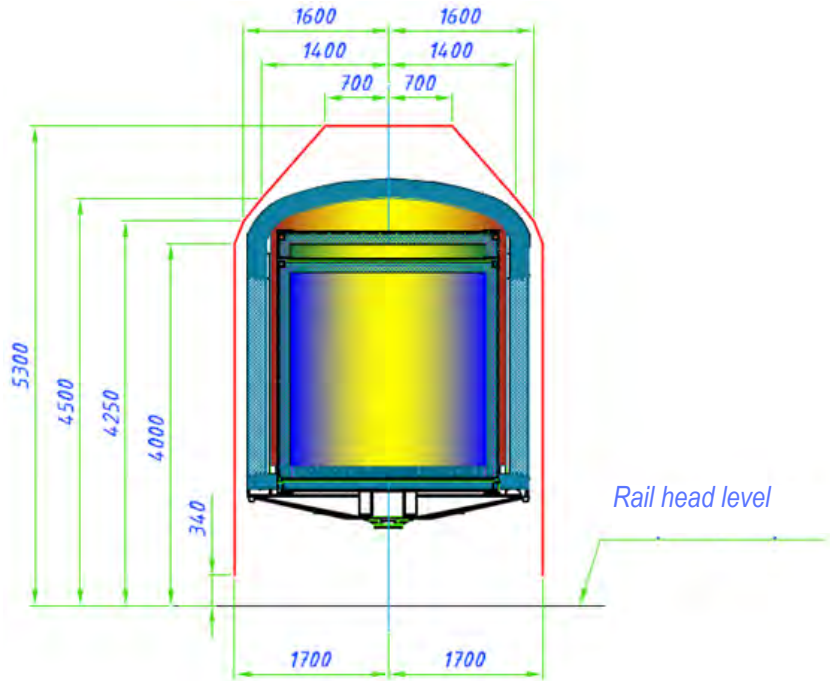
| Railway of origin | 2018 | | 2019 | | 2020 | |
|-----------------------------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
| | Tons | Share, % | Tons | Share, % | Tons | Share, % |
| Moscow (MSC) | 613 860 | 18,20 | 652 793 | 19,77 | 845 540 | 22,86 |
| Far-Eastern (DVS) | 688 090 | 20,40 | 658 650 | 19,95 | 662 114 | 17,90 |
| West-Siberian (ZSB) | 524 062 | 15,54 | 496 971 | 15,05 | 602 950 | 16,30 |
| Oktyabrskaya [October](OCT) | 343 212 | 10,18 | 305 993 | 9,27 | 350 694 | 9,48 |
| North-Caucasian (SKV) | 234 989 | 6,97 | 282 445 | 8,55 | 320 334 | 8,66 |
| Kuibyshev (KBSh) | 197 629 | 5,86 | 187 023 | 5,66 | 204 291 | 5,52 |
| Volga (PRV) | 129 133 | 3,83 | 135 837 | 4,11 | 144 583 | 3,91 |
| South-Eastern (YuVS) | 131 692 | 3,90 | 117 710 | 3,57 | 125 060 | 3,38 |
| Sverdlovsk (SVR) | 104 285 | 3,09 | 87 714 | 2,66 | 95 554 | 2,58 |
| Northern (SEV) | 118 129 | 3,50 | 84 042 | 2,55 | 87 654 | 2,37 |
| Krasnoyarsk (KRS) | 86 992 | 2,58 | 82 997 | 2,51 | 86 243 | 2,33 |
| East-Siberian (VSB) | 55 305 | 1,64 | 58 533 | 1,77 | 61 630 | 1,67 |
| Gorky (GOR) | 50 833 | 1,51 | 63 296 | 1,92 | 54 191 | 1,46 |
| Kaliningrad (KLG) | 78 154 | 2,32 | 70 879 | 2,15 | 42 640 | 1,15 |
| South Urals (YuUR) | 13 232 | 0,39 | 13 372 | 0,40 | 13 059 | 0,35 |
| Transbaikal (ZAB) | 3 154 | 0,09 | 3 542 | 0,11 | 3 024 | 0,08 |
| Railways of Yakutia (ZhDYa) | 157 | 0,00 | | 0,00 | 5 | 0,00 |
| Total | 3 372 908 | 100,00 | 3 301 797 | 100,00 | 3 699 566 | 100,00 |

*The listed railways are subsidiaries of JSC Russian Railways, except for Railways of Yakutia Stock Company which is JSC. – *Translator's note.*



Pic. 5. Distribution of transported cargo by types of PG (according to ASORPS data).





Pic. 6. Scale image of IW and LRC bodies of 1AA and 1AAA types and the clearances regarding the 1-T loading gauge (compiled by the author).

For manufactured wagons, this concept is divided into two categories regarding technical operation, maintenance, and reliability, as well as the technical characteristics of a wagon. The first (mandatory) category of innovation features [in Russia] includes an increase by twice the mileage between overhauls, and absence of restraints on the length of guaranteed haul distances [to be run by wagons without maintenance works]. The second (additional) category includes technical parameters such as load capacity, tare mass, axle load, and body volume.

Improvement of the technical and economic characteristics of IRS (an increase in carrying capacity and in travel speeds, efficiency and environmental friendliness) indicates that the new IRS should meet the criteria of innovation, and is associated with the ultimate ambitious task to return the positions of railway refrigerated transport previously listed in the competition with road carriers.

In this regard, it is advisable to consider the following categories of innovative rolling stock:

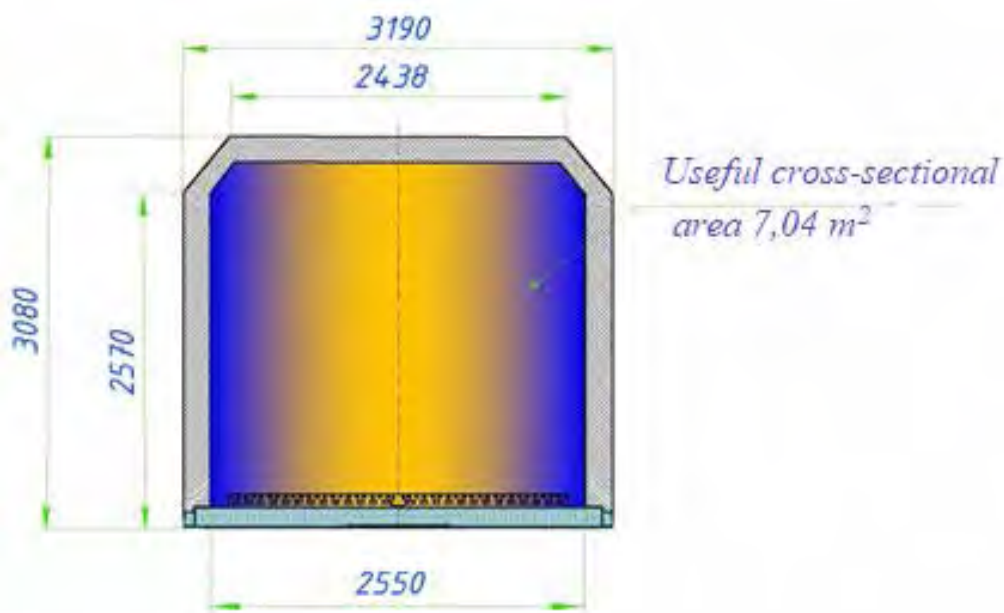
- Single wagons with axle load of 23,5 or 25 tons for speeds of up to 120 km/h.
- Flat container wagons for transporting LRC with an axial load of 20 tons for higher speeds of up to 140 km/h.

- Articulated wagons.
- Swap bodies.

However, selection of an unconditional priority in the structure of development prospects and of a choice of a specific type of IRS is now problematic.

The works [13; 14] present a new refrigerated wagon in the form of interconnected functional subsystems: body, running gear, draw-and-buffer devices (couplers), thermal stabilisation system (cooling and heating) [13], power supply unit, equipment to create special environmental parameters in the loading space, control systems with remote monitoring functions.

Since specialised railway infrastructure is lacking, such a complex of engineering and technological solutions makes it possible to create, based on an universal isothermal body, a wagon of a required configuration with specified technical parameters of each module of the subsystem, which ensure together maximum conformity of wagon's properties with consumer appeal in the transport services market. Interrelated engineering solutions are offered for each subsystem, while the final set of engineering solutions is developed individually for each modification of a wagon considering logistics needs of an operator [12; 13; 16–18].



Pic. 7. Cross-section of an isothermal swap body with a thermal insulation thickness of 200 mm (compiled by the author).

Features of design of rolling stock for multimodal transportation (large-capacity containers and swap bodies) are considered in works [19–21]. Since they relate to the usual non-refrigerated rolling stock, they can only be considered in the distant future.

When comparing the technical and economic parameters of innovative rolling stock (wagons, swap bodies, and large-capacity containers), one should consider their place within the general transport and technological system of railway transportation and CCC, and that was previously considered in [12].

The main technical characteristics for IRS are carrying capacity and the useful volume of loading space (LS). The carrying capacity is determined by the value of the axle load and the tare mass of the wagon. An increase in the useful volume is possible with an increase in the body length and in the permissible loading height of loading space since the body height itself is limited by the dimensions of rolling stock. If their priority in terms of carrying capacity and useful volume is not in doubt, then for specialised cooling equipment these indicators may be different.

When considering these parameters for an isothermal wagon (IW) and a container

considering the flat wagon, we introduce the indicator of the specific useful volume of the loading space per the linear length. In our case, we take an isothermal wagon with a standard body length of 21 m (along the coupling axes it will be 22,15 m) flat wagons with a length of, respectively, 14,5, 19,6 and 25,5 m along the coupling axes [13]:

$$V_{spec} = V_u / L_{wag},$$

where V_{spec} – specific useful volume along the linear length the wagon;

V_u – useful volume of the loading space of the wagon or of the container, m³;

L_{wag} – length of IW or of the flat wagon along the axes of the automatic coupler, m.

For IW, $V_{spec} = 136/22,15 = 6,14$ m³/l.m.

For a forty-foot LRC (IAAA according to the international ISO classification), considering two containers fitted on a longer 25,5 m flat wagon, the specific useful volume will be $V_{spec} = (2 \cdot 68)/25,5 = 5,33$ m³/l.m.

When using other standard sizes of containers and models of flat wagons, different loading schemes will be used, and the values of this parameter will turn out to be even less, e.g., 4,67 and 3,47 m³/l.m., respectively.

Comparison of useful cross-sectional areas of the loading space of IW and LRC (Pic. 6)



Calculated linear dimensions of bodies of various types of isothermal rolling stock
(developed by the author)

| Rolling stock type | Outer width, m | Useful width, m | Useful section, m ² | Possible length, m | Useful height, m |
|--------------------------------|----------------|-----------------|--------------------------------|--------------------|------------------|
| Wagon | 3,105 | 2,6 | 7,454 | 21,0 | 2,96 |
| Swap body | 3,19 | 2,55 | 7,04 | 13,71 | 2,62 |
| Large-capacity 1AA container | 2,438 | 2,154 | 5,232 | 12,192 | 2,212 |
| Large-capacity 1 AAA container | 2,438 | 2,154 | 4,575 | 12,192 | 2,429 |

shows that for a 1AA container this area is of 61,4 %, and for a standard 1AAA container it is of 70,2 % of the useful section of IW. This indicates that the specific linear useful volume of IW will be 6,14 m³/l.m. against 5,33 for LRC. With an average length of a cargo train of 1000 m, the difference in useful volumes per different types of rolling stock in this case can attain about 810 m³, which indicates a more efficient use of carrying capacity of the railway transit capacity when using IW [13].

Pic. 6 shows a scale image of the IW and LRC bodies of 1AA and 1AAA types and the clearances regarding 1-T loading gauge. Pic. 7 shows a scaled cross-section of a swap body with a thermal insulation thickness of 200 mm. Calculated linear dimensions of isothermal bodies are presented in Table 2.

Considering the linear dimensions and useful section of the loading space of various types of isothermal bodies, the advantage of wagons and swap bodies can be seen. However, the use of the useful length of rolling stock is different for them. Undoubtedly, the full use of the length is possible only for wagons. When considering swap bodies and large-capacity containers, it is necessary to consider the length and type of «carriers» which are flat wagons of various models. Besides, the allowed schemes of loading and the use of two standard sizes of LRC (20- and 40-foot containers) at the points of assembly of container trains lead to a deterioration in the use of the useful length of the train.

CONCLUSIONS

The proposed strategy and methodology for development of vehicles for PG transportation comprise research tasks, decision-making stages, as well as methods and algorithms for implementing decisions. It follows from the analysis that the problem includes not only the development of stationary railway infrastructure and of stages of development of IRS, but also the solution of organizational, engineering,

technological and regulatory problems along with the issues of tariff regulation.

The previously considered indicators of the volume of PG traffic in Russia by type of transportation (domestic, transit, export and import transport of goods), for the purposes of development forecasts, should be analysed considering the routes where studied rolling stock is operated.

Isothermal wagons will prevail in domestic traffic and in transit through the territories of the CIS countries that have the same track gauge. Large-capacity containers will be used for international transcontinental transit and export-import multimodal transportation. Swap bodies are at the initial stage of their adoption, and despite good design engineering and economic characteristics, they will not be able to take immediately a significant position in the domestic and foreign markets. The first cause is associated with only partial availability of the existing infrastructure for using them in domestic traffic. Then, the significantly larger body width (3,19 m versus 2,438 m for large-capacity container) will not allow their use in multimodal transportation, while technical parameters of the flat wagons and fitting issues have not yet been fully resolved. In any case, the final decision on the structure and type of IRS should be made based on long-term forecasting of development of agricultural, fishing and processing industries, and considering the requirements of modern technical regulations and specifications.

The proposed methodology, once it is duly adapted, seems to be applicable to a large extent in other countries.

REFERENCES

1. Innovative processes of logistics management in intelligent transport systems: Monograph: in 4 volumes [*Innovatsionnie protsessy logisticheskogo menedzhmenta v intellektualnykh transportnykh sistemakh: Monografiya v 4 t.*]. Ed. by Prof. Lyovin, B. A., and Prof. Mirotin, L. B. Moscow, Training and methodological centre for railway education, 2015, Vol. 2: Development of sectoral logistics intelligent transport systems, 343 p. [Electronic resource]:

<http://umczdt.ru/books/40/225885/>. Last accessed 16.04.2021.

2. Baginova, V. V., Fedorov, L. S., Sysoeva, E. A., Kuzmin, D. V., Fen, Sh., Mamaev, E. A., Rakhmangulov, A. N. Logistics: Scientific monograph [*Logistika: nauchnaya monografiya*]. Ed. by Baginova, V. V. Moscow, Prometheus publ., 2020, 292 p. ISBN: 978-5-00172-071.

3. Vokhmyanina, A. V., Zhuravskaya, M. A., Petrov, M. B. A multicriteria approach for assessing and justifying development priorities of the transport network of territories exceeding the regional scale [*Mnogokriterialniy podkhod dlya otsenki i obosnovaniya prioritov razvitiya transportnoi seti territorii, prevoskhodyaschikh regionalniy masshtab*]. *Bulletin of Ural State Transport University*, 2018, Iss. 4 (40), pp. 58–68.

4. Rodrigue, J. P., Notteboom, T. The Cold Chain and its Logistics. In: *The Geography of Transport Systems*. New York, Routledge, 2020, 456 p. [Electronic resource]: <https://transportgeography.org/contents/applications/cold-chain-logsitics/>. Last accessed 16.04.2021.

5. Prokofiev, M. P., Tokhirov, M. M. Prospects for North-South transport corridor. *World of Transport and Transportation*, 2019, Vol. 17, Iss. 5, pp. 200–213. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-5-200-213>.

6. Mamaev, E. A., Guda, A. N., Levin, B. A., Baginova, V. V., Vinogradov, V. V., Morozov, V. N. Strategic Trends of Cargo Turnover in Major Hubs: Assessment, Clustering and Prediction [*Strategicheskie tendentsii gruzooborota v krupnykh khabakh: Otsenka, klasterizatsiya i prognozirovanie*]. *International Journal of Economic Perspectives*, 2017, Vol. 11, Iss. 2. ISSN: 1307-1637.

7. Chislov O., Zadorozhnyy V., Lomash D., Chebotareva E., Solop I., Bogachev T. (2020) Methodological Bases of Modeling and Optimization of Transport Processes in the Interaction of Railways and Maritime Transport. In: Macioszek E., Sierpiński G. (eds) *Modern Traffic Engineering in the System Approach to the Development of Traffic Networks*. TSTP 2019. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol 1083. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-34069-8_7.

8. Kolesnikov, M. V., Lyabakh, N. N., Mamaev, E. A., Bakalov, M. V. Efficient and secure logistics transportation system. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 918, VIII International Scientific Conference Transport of Siberia – 2020. 22–27 May 2020, Novosibirsk, Russia, 012031. DOI: 10.1088/1757-899X/918/1/012031.

9. Petrov, M. B. Spatial paradigm as the basis for managing development of the transport system [*Prostranstvennaya paradigma kak osnova upravleniya razvitiyem transportnoy sistemy*]. XVIII International scientific conference «Modernisation of Russia: priorities, problems, solutions» and other events in the framework of public and scientific forum «Russia: key problems and solutions». Moscow, December 20–21, 2018 // *Russia: Trends and Development Prospects: Yearbook*. Moscow, Institute of Scientific Information for Social Sciences of the Russian Academy of Sciences, 2019, Iss. 14, Part 1, 937 p., pp. 187–189.

10. Petrov, M., Samuylov, V. Criterion of comparative efficiency in planning of the transport network. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Volume 403, XII International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry 10–13 September 2019, Don State Technical University, Russian Federation, 012196. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/403/1/012196>.

11. Voron, O. A., Bulavin, Yu. P., Shirobokov, V. I. Problems of transport infrastructure in transportation of fish in modern conditions [*Problemy transportnoi infrastruktury pri transportirovke ryby v sovremennykh usloviyakh*]. Works of Rostov State Transport University, 2016, Iss. 3 (36), pp. 24–32.

12. Voron, O. A., Morchiladze, I. G. Aspects of improving railway transportation of LNG as part of a continuous cold chain [*Aspekty sovershenstvovaniya zheleznodorozhnykh perezovok SPG v sostave nepreryvnoi kholodilnoi tsepi*]. *Transport of the Russian Federation*, 2014, Iss. 1, pp. 24–29.

13. Voron, O. A. Updating of engineering solutions for isothermal rolling stock for transportation of perishable goods [*Aktualizatsiya tekhnicheskikh reshenii dlya izotermicheskogo podvizhnogo sostava pri perezovkakh skoroporyaschikhsya gruzov*]. *Bulletin RSTU*, 2020, Iss. 1, pp. 56–65.

14. Voron, O. A. Using the method of updating engineering solutions to create a model of functional interaction of systems of an autonomous refrigerated wagon [*Ispolzovanie metoda aktualizatsii tekhnicheskikh reshenii dlya sozdaniya odeli funktsionalnogo vzaimodeistviya sistem avtonomnogo refrizheratornogo vagona*]. *Bulletin RSTU*, 2021, Iss. 2, pp. 86–94.

15. Sokolov, A. M. Scientific basis for creation and assessment of effectiveness of adoption of innovative wagons [*Nauchnie osnovy sozdaniya i otsenka effektivnosti vnedreniya innovatsionnykh vagonov*]. *Bulletin of Joint Scientific Council of JSC Russian Railways*, 2015, Iss. 2, pp. 1–13.

16. Voron, O. A., Petrushin, A. D., Shcherbakov, V. G. Autonomous power supply system for isothermal rolling stock [*Avtonomnaya Sistema elektrosnabzheniya izotermicheskogo podvizhnogo sostava*]. *Izv. vuzov. Elektromekhanika*, 2019, Vol. 62, Iss. 2, pp. 36–40. DOI: 10.17213/0136-3360-2019-2-36-40.

17. Voron, O. A. The use of liquefied natural gas in a combined power plant of an autonomous refrigerated wagon [*Ispolzovanie szizhennogo prirodnogo gaza v kombinirovannoi energosilovoi ustanovke avtonomnogo refrizheratornogo vagona*]. *Vestnik VNIIZhT*, 2019, Vol. 78, Iss. 3, pp. 188–192.

18. Nekrasov, G. I., Balabin, V. N., Principles of modularity in design and maintenance of locomotives. *World of Transport and Transportation*, 2019, Vol. 17, Iss. 2, pp. 80–90. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-2-80-90>.

19. Dauksha, A. S., Boronenko, Yu. P. Prospects for introduction of wagons with demountable bodies with increased carrying capacity [*Perspektivy vnedreniya vagonov so s'emnymi kuzovami uvelichennoi gruzopod'emnosti*]. *Bulletin of St. Petersburg State Transport University*, 2017, Vol. 14, Iss. 3, pp. 437–451.

20. Dauksha, A. S., Boronenko Yu. P. Choice of design solutions for fastening containers and demountable bodies on railway flat wagons [*Vybor konstruktivnykh reshenii ustroystv krepneniya konteinerov i s'emnykh kuzovov na zheleznodorozhnykh platformakh*]. *Transport of the Russian Federation*, 2017, Iss. 2 (69), pp. 29–33.

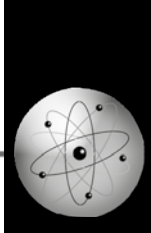
21. Kozhokar, K. V. Features of development of an articulated flat wagon for transportation of containers with higher speed [*Osobennosti razrabotki skorostnogo sochlenennogo vagona-platformy dlya perezovki konteinerov*]. *Transport of the Russian Federation*, 2013, Iss. 3 (46), pp. 21–24.

Information about the author:

Voron, Oleg A., Ph.D. (Eng), Associate Professor, Head of the Department of Wagons and Wagon Facilities of Rostov State Transport University (RSTU), Rostov-on-Don, Russia, rgups_voron@mail.ru.

Article received 25.03.2021, approved 14.06.2021, updated 24.06.2021, accepted 28.06.2021.





Analysis of Tribotechnical Properties and Comparative Evaluation of Polymeric Materials and Rubbers Used in Rolling Stock



Mikhail Yu. KULIKOV



Vladimir P. BIRYUKOV



Anton N. PRINTS

Mikhail Yu. Kulikov¹, Vladimir P. Biryukov², Anton N. Prints³

¹ Russian University of Transport, Moscow, Russia.

^{2,3} Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

✉ ³ tosha.prints.94@mail.ru.

ABSTRACT

Rubber materials are widely used in friction assemblies of railway rolling stock. Rubbers are used oil seals, other various seals, shock absorbers, corrugated hoses, sleeves, sealing rings, etc. During operation, rubbers are exposed to various mechanical influences that cause wear, cracks, abrasion, dents, burn-throughs, etc., which can lead to the failure of the entire unit and unforeseen unscheduled repairs of the rolling stock. Any failure on the route together with unplanned repairs incur heavy economic losses.

Currently, the issue of wear of rubbers in rubber-steel tribo-pairs has not been sufficiently studied in case of supply of lubricant to the friction zone and of wear caused by a free and fixed abrasive. There is ongoing research on the possibility of replacing rubber products with other polymeric materials, which have shown significantly better results in tribological tests, both in terms of friction coefficients and in the wear mechanism. The data obtained will

make it possible to choose the most optimal options for materials that can act as a replacement for standard rubber products in rolling stock friction assemblies.

The paper presents the results of tribological tests of thermoplastic polyurethanes (TPU), ultra-high-molecular-weight polyethylene (UHMWPE) and polypropylene (PP2015) in comparison with rubber based on nitrile butadiene rubber (NBR). The tests were carried out according to two schemes: «plane (tested sample) – bushing» and «plane (tested sample) – generatrix of a rubber disk with supply of abrasive grain to the friction zone».

The objective of the work is to determine the dependence of the change in friction coefficients on load and sliding speed, as well as the dependence of seizure pressures of tribo-pairs on speed, weight loss of samples after wear tests with a free and fixed abrasive, the morphology of wear surfaces, and wear mechanisms of polymer materials and rubbers.

Keywords: transport, railway, rolling stock, friction coefficient, polymers, damping material, tribotechnical properties, sliding speed, abrasive wear.

For citation: Kulikov, M. Yu., Biryukov, V. P., Prints, A. N. Analysis of Tribotechnical Properties and Comparative Evaluation of Polymeric Materials and Rubbers Used in Rolling Stock. *World of Transport and Transportation*, 2021, Vol. 19, Iss. 3 (94), pp. 158–166. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-2>.

*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

Application and improvement of damping polymer elements are directly associated with improvement of dynamic characteristics of wagons and locomotives during their interaction with the upper structure of the railway track (e.g., [1]). One of the main challenges is the need to improve the dynamic properties of elastic damping elements.

Possibility to use damping polymer materials in friction assemblies of rolling stock is being considered to increase economic efficiency. The technical requirements for modern design of railway shock absorbers are defined by their operating conditions, which imply reliable operation under static, cyclic and shock loads, at low and high temperatures, in contact with the environment, which largely depends on the type of damping material. It should be noted that, despite the extensive experience in studying physical and mechanical properties of polymers and composite polymer materials, the issue of wear of polymers in polymer-steel tribo-pairs has not been sufficiently studied in case of presence of lubricants and of wear caused by a free and fixed abrasive. Therefore, additional studies are required for their comparative evaluation. A study [2] of a composite polytetrafluoroethylene (PTFE) bearing was carried out by modelling wear with a steel shaft. The effect [3] of thermal aging of oil on frictional and wear-resistant properties of NBR has been studied. It has been determined how the surface roughness [4] affects friction and wear resistance of NBR. The study [5] has performed modelling and experimental study of translational hydraulic seal wear. Upon swelling NBR with the standard solvent IRM 903 [6], wear was 1,1 times higher than in the non-swollen sample. The wear resistance [7] of friction units of borehole pumps with seals made of directionally reinforced polymer composites has been determined. Graphite polytetrafluoroethylene (PTFE) and polyamide (PI) composites were tested with tool steel with lubrication and the addition of finely dispersed quartz sand [8].

An experimental study [9] of performance characteristics of a high-speed polymer thrust bearing with oil lubrication has been carried out. The influence of pressure and sliding speed on the coefficient of friction of polyurethane elastomers of different hardness during friction against steel using a grease has been determined

in [10]. The tribological characteristics of ultra-high-molecular-weight polyethylene (UHMWPE) were obtained [11] with respect to TiAl_6V_4 and $\text{CoCr}_{28}\text{Mo}$ alloys.

The objectives of the work were: to determine the dependence of the change in friction coefficients on load and sliding speed for thermoplastic polyurethanes (TPU), ultra-high-molecular-weight polyethylene (UHMWPE) and polypropylene (PP2015) in comparison with rubber based on nitrile butadiene rubber (NBR), as well as the dependence of seizure load of tribo-pairs on speed; to determine the weight loss of specimens after wear tests with a fixed and unfixed abrasive, as well as to study the morphology of wear surfaces, and the mechanisms of wear of polymer materials and rubbers.

MATERIALS AND METHODS OF RESEARCH

Samples of TPU 50D2S10, 60D2S10, UHMWPE, PP2015, NBR were selected for friction and wear testing. The samples were a plate with dimensions of $20 \times 70 \times 2$ mm, which was glued to plywood with dimensions of $20 \times 70 \times 12$ mm. Tribological tests were carried out according to the scheme «plane (tested sample) – bushing (steel mandrel with silicon carbide-based abrasive paper with a grain size of $120 \mu\text{m}$ glued to its end, or a 40X steel bushing with hardness HRC 49–54). The end of the bushing was processed with sandpaper of various grain sizes (P180, P220, P600, P2400). The sliding speed and pressure on the sample varied discretely in the range of 0,1–3,5 m/s and 2–10 MPa, respectively. Hydraulic oil MGE10A was used as a lubricant when testing polymer samples against steel, with one drop per second supplied to the friction zone. Free abrasive wear tests were carried out by rubbing a flat sample against the generatrix of the rubber disk surface. Quartz sand with particle sizes from 0,2 to 0,6 mm was fed into the friction zone. The tests were carried out at normal atmospheric pressure and room temperature. The test load was 15 N, the test duration was 5 minutes per single sample. After each test, the samples were cleaned from abrasive particles using a cylinder with dry compressed air. Three samples of each material were tested. The weight loss of the samples was determined using an analytical balance VIBRA HT-220CE. The wear amount was determined as the arithmetic average of values obtained from three samples.



Technical characteristics of TPU^{1, 2, 3}

| Material grade | Hardness, Shore | Density, g/cm ³ | Tensile strength, MPa | Elongation at break, % |
|----------------|-----------------|----------------------------|-----------------------|------------------------|
| TPU 50D2S10 | 52 D | 1,18 | 45,0 | 450 |
| TPU 60D2S10 | 60 D | 1,18 | 55,0 | 320 |
| UHMWPE | 64 D | 0,93 | 25 | 50 |
| PP 02015 | 70 D | 0,9 | 29 | 400 |
| NBR | 75 A | 1,3 | 25 | 425 |

¹ Official website of «RT-EPOFLEX». Section «Scope of application». Automobile. [Electronic resource]: <http://rtplp.ru/sfera-primeneniya/>. Last accessed 13.04.2021.

² Official website of «Polymer company. Plastprominvest». Section «Products». Balen 02015. [Electronic resource]: <http://ppinvest.ru/produkcija/blok-sopolimeri-propilena-etilena/balen-02015.html>. Last accessed 13.04.2021.

³ Official website of Trading and manufacturing company «RUBICOM». Section «Information». Nitrile butadiene rubber (NBR) [Electronic resource]: <https://www.rubicom.ru/info/articles/kauchuki/butadien-nitrilnyy-kauchuk-bnks/>. Last accessed 13.04.3021.

RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES

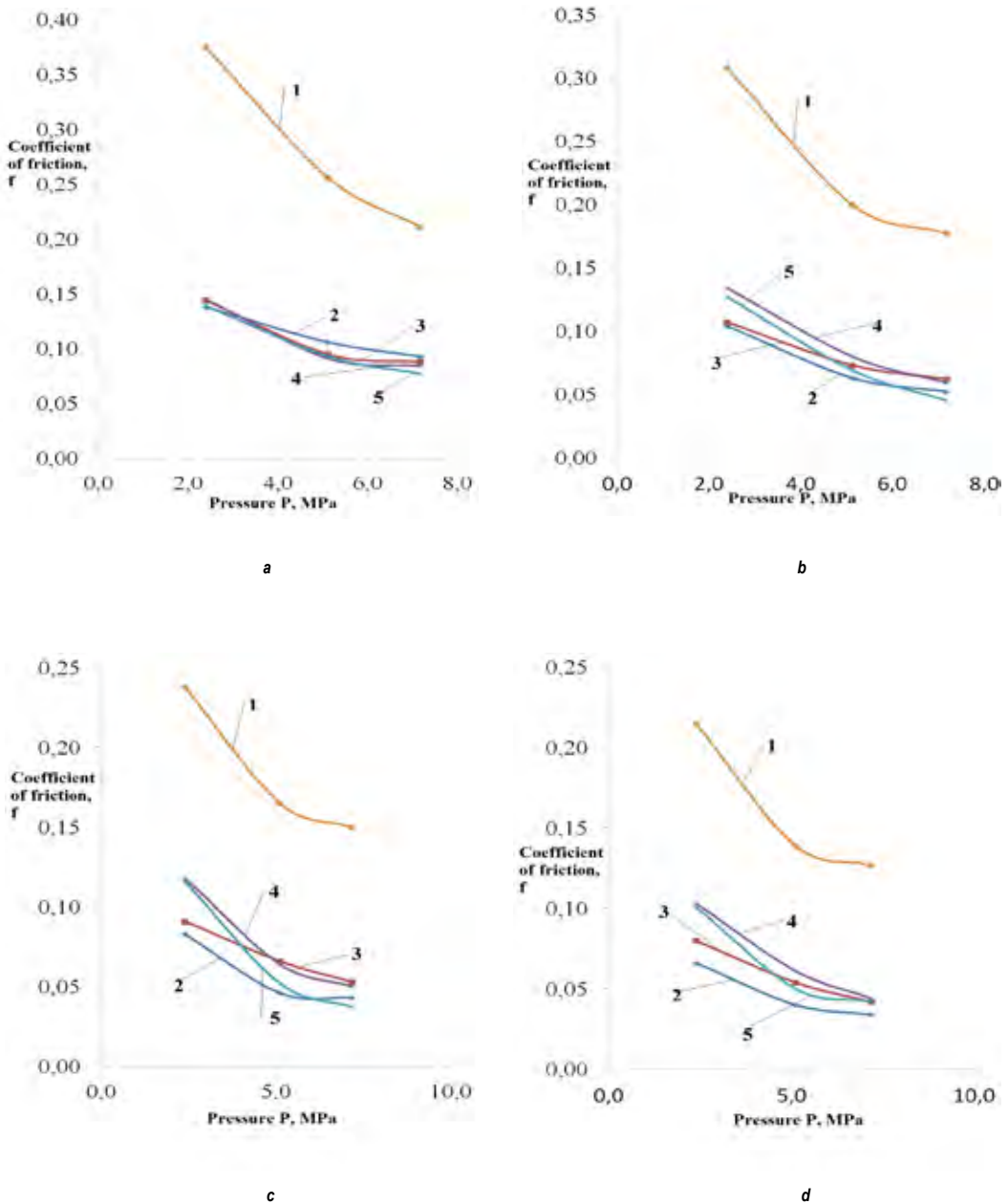
Pic. 1 (a – P180, b – P220, c – P600, d – P2400) presents the results which reflect the dependence of the friction coefficient on the pressure and roughness of the surface of the annular sample, depending on processing with sandpaper and the size of abrasive grain. The friction coefficient of NBR sharply decreased from 0,3–0,35 to 0,2 at a pressure of 2 MPa (Pic. 1a, b) and from 0,2–0,25 to 0,13–0,15 (Pic. 1c, d). For PP2015, the friction coefficient also decreased with an increase in pressure and a decrease in roughness of the steel surface with maximum values of 0,08–0,14, and the minimum values of 0,04–0,1. The friction coefficient of UHMWPE was higher in comparison with other materials with the maximum values of 0,09–0,15 and the minimum values of 0,05–0,11. TPU 50D2S10 polyurethanes had lower friction coefficients compared to TPU 60D2S10 polyurethanes, except for tests with steel samples treated with P180 sandpaper. The minimum values of friction coefficients of polyurethanes were 0,04–0,06 for 50D2S10 and 0,05–0,08 for 60D2S10.

In general, the coefficients of friction, depending on pressure, tended to decrease in their value. A decrease in roughness of the steel surface led to a decrease in friction coefficients of friction for all materials with an increase in pressure in the tribo-pair.

Pic. 2 (a – P180, b – P2400) shows the regularities of the change in friction coefficients on sliding speed and roughness of the steel sample. For all materials, with an increase in sliding speed from 0,2 to 0,6 m/s, a decrease in friction coefficients was observed. So, for NBR, friction coefficients decreased from maximum values of 0,37 and 0,22 to 0,35 and 0,2,

depending on roughness of the steel surface (Pic. 2a, b), respectively. For the rest of polymers, initial values of friction coefficients, when processing steel with P180 sandpaper, were practically the same and amounted to 0,14–0,15. With an increase in sliding speed from 0,6 to 1,3 m/s, friction coefficients of all materials increased and were higher than at a speed of 0,2 m/s. The friction coefficient of PP2015 had maximum values of 0,14–0,16 (Pic. 2a) and minimum values of 0,09–0,11 (Pic. 2b). The friction coefficient of UHMWPE had lower friction coefficients of 0,12–0,125 at sliding speeds of 0,8–1,3 m/s (Pic. 2a) and higher friction coefficients of 0,09–0,11 compared to other polymers at the same speeds. This may be due to the higher molecular component of the coefficient of friction when processing steel with P2400 sandpaper, providing minimum roughness of the friction surface. TPU 50D2S10 polyurethanes with coarser steel surface had friction coefficients higher than 60D2S10 polyurethanes (Pic. 2a). With a smoother steel surface, TPU 50D2S10 friction coefficients had the minimum values of 0,06–0,08, while TPU 60D2S10 showed values of 0,07–0,11. For all materials, there was an increase in friction coefficients with an increase in speed above 0,6 m/s.

Pic. 3 (a – P180, b – P2400) shows the dependence of the change in the seizure load on sliding speed. For all the materials under study, with an increase in the sliding speed, the seizure load decreased. So, for NRB samples, with a coarser roughness of the steel friction surface, at a pressure of 7 MPa, jamming occurred at a sliding speed of 0,2 m/s, and with a smoother steel surface, it occurred at a speed of 0,4 m/s. TPU 50D2S10 polyurethanes had higher seizure



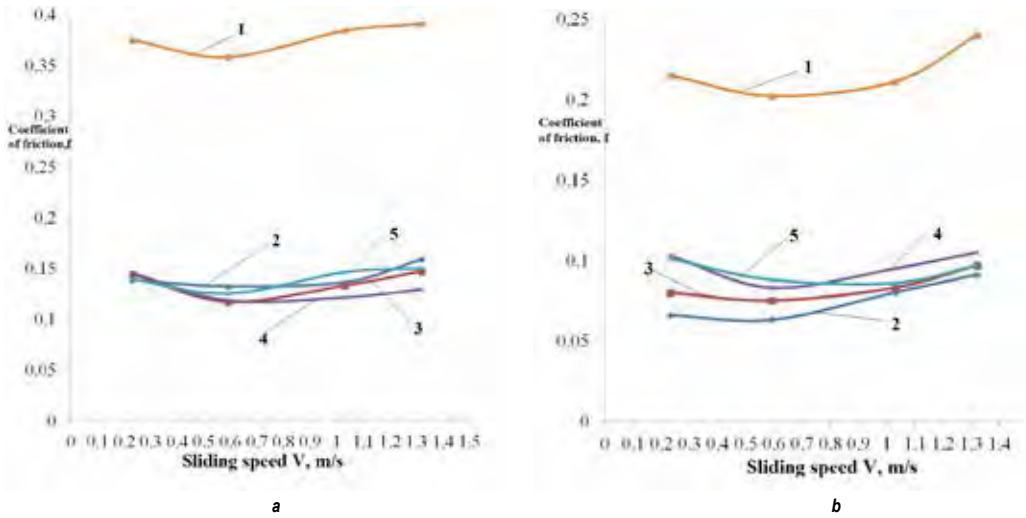
Pic. 1. Dependences of friction coefficients on pressure for steel 40X with sandpaper processing: a – P180, b – P220, c – P600, d – P2400. 1 – NBR, 2 – 50D2S10, 3 – 60D2S10, 4 – UHMWPE, 5 – PP2015 (compiled by the authors).

loads than TPU 60D2S10 samples over the entire speed range. UHMWPE samples had intermediate jamming loads between TPU and PP2015. The highest seizure loads were obtained for PP2015 samples, regardless of surface roughness of the steel bushing end.

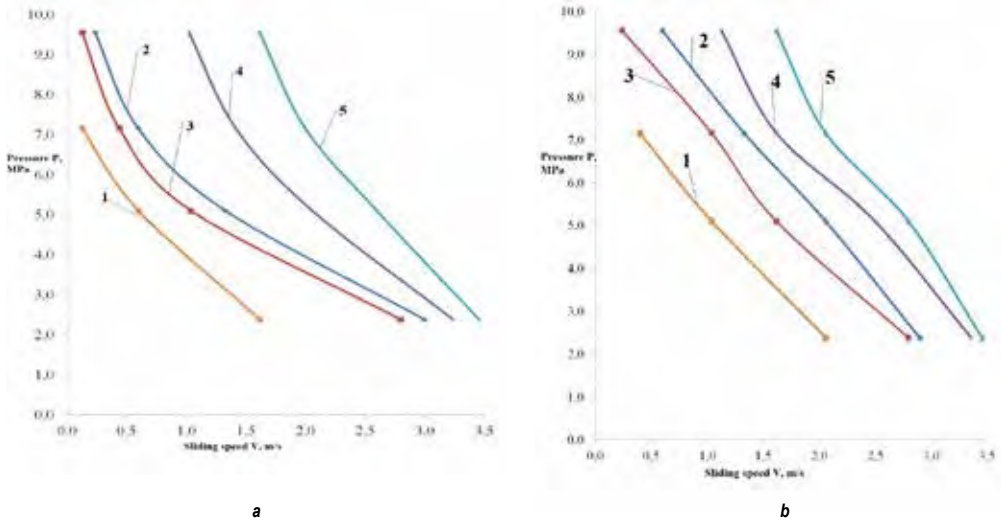
Pic. 4a, b shows the results in the form of dependences of the friction coefficient on normal pressure and sliding speed when tested on a fixed abrasive.

With increasing pressure, coefficients of friction decrease for all types of polymers and NBR. The obtained values of friction coefficients can be arranged as they increase in the following order: 0,3–0,36 for PP2015, 0,33–0,44 for UHMWPE, 0,38–0,55 for 50D2S10, 0,4–0,58 for 60D2S10 and 0,85–0,98 for NBR. An increase in sliding speed from 0,12 to 0,23 m/s led to an insignificant increase in coefficients of friction for the studied polymers. So, for PP2015

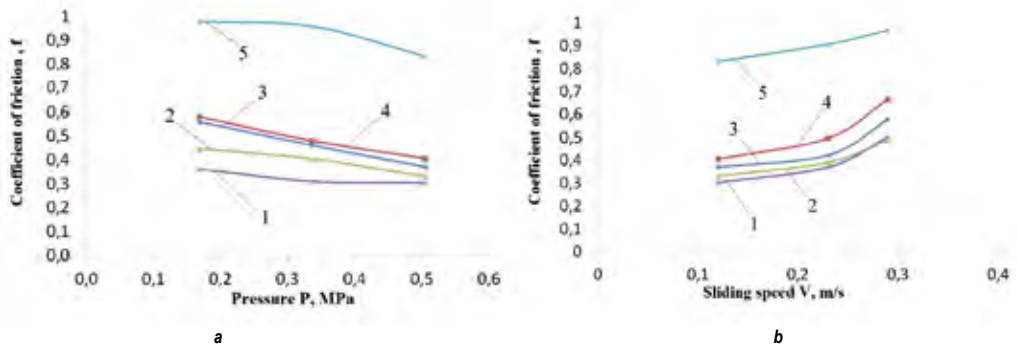




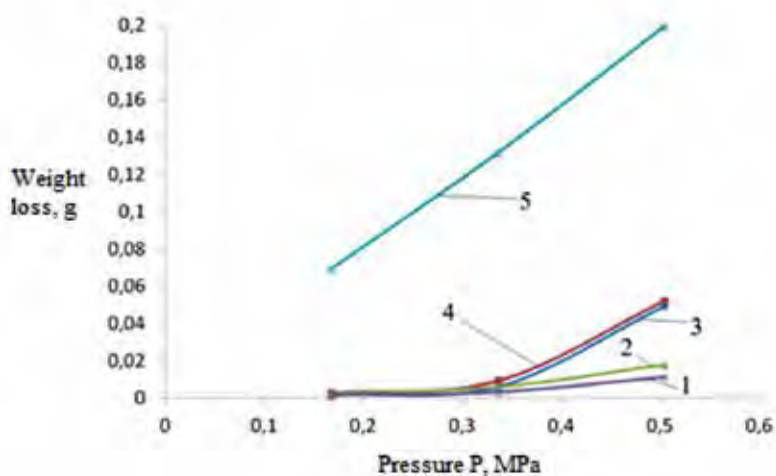
Pic. 2. Dependences of friction coefficients on sliding speed for steel 40X with sandpaper processing: a – P180, b – P2400. 1 – NBR, 2 – 50D2S10, 3 – 60D2S10, 4 – UHMWPE, 5 – PP2015 (compiled by the authors).



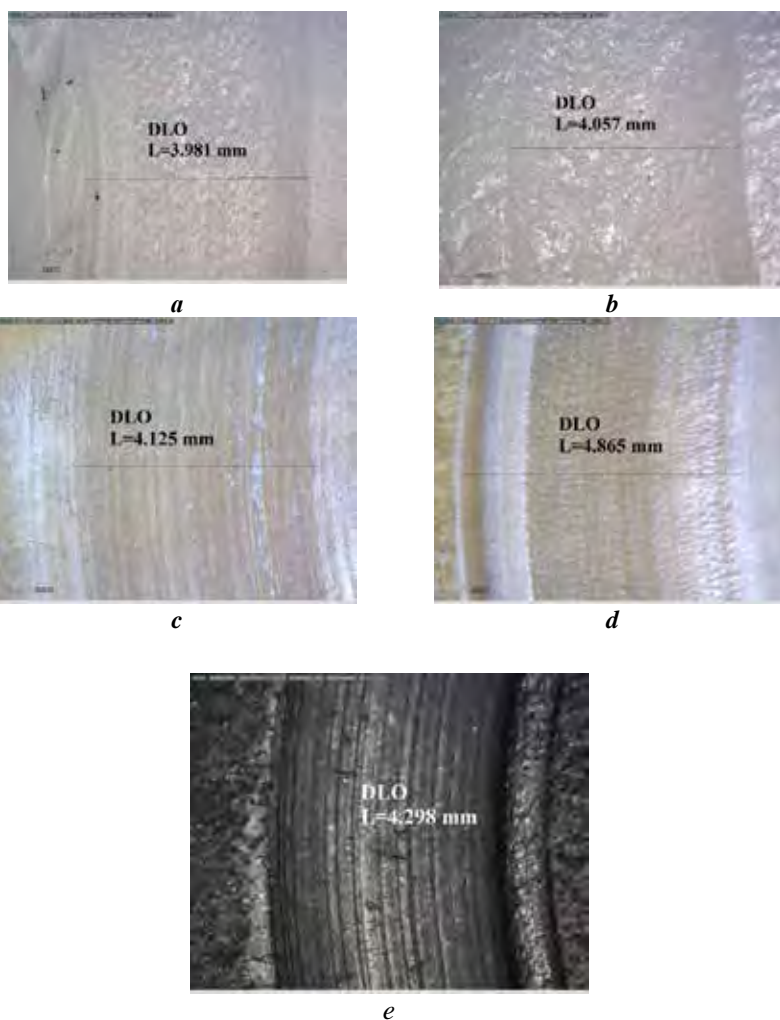
Pic. 3. Dependences of the seizure load on sliding speed for steel 40X with sandpaper processing: a – P180, b – P2400. 1 – NBR, 2 – 50D2S10, 3 – 60D2S10, 4 – UHMWPE, 5 – PP2015 (compiled by the authors).



Pic. 4. Dependence of coefficients of friction of polymers on pressure (a) and sliding speed (b), case of fixed abrasive: 1 – PP2015, 2 – UHMWPE, 3 – 50D2S10, 4 – 60D2S10, 5 – NBR (compiled by the authors).

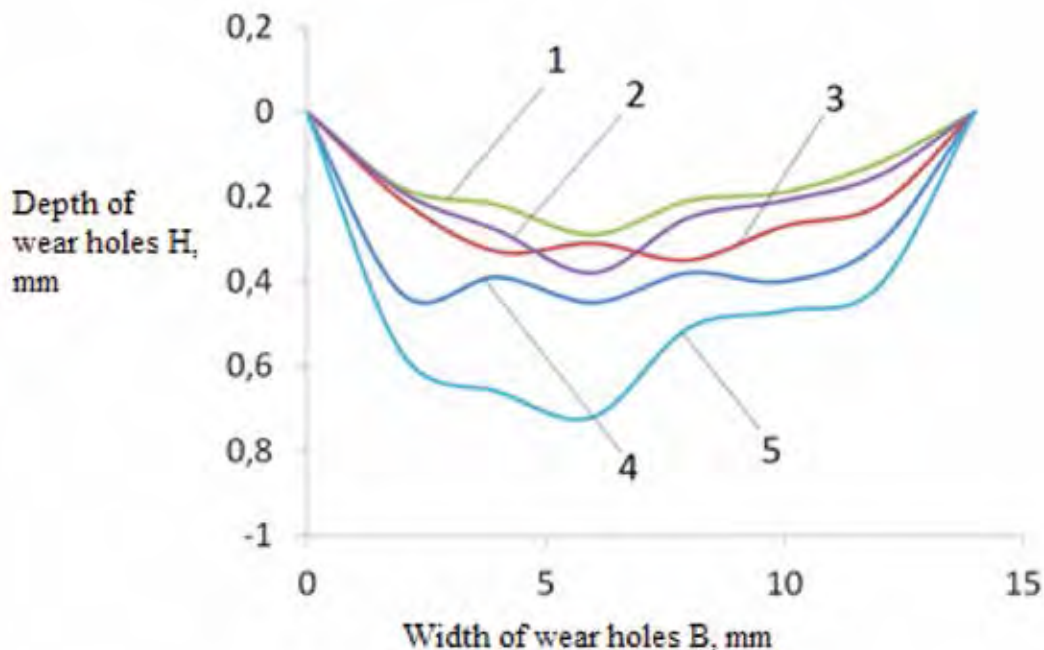


Pic. 5. Dependence of the weight loss of polymers on the test pressure, case of fixed abrasive: 1 – PP2015, 2 – UHMWPE, 3 – 50D2S10, 4 – 60D2S10, 5 – NBR (compiled by the authors).



Pic. 6. Morphology of friction surfaces of polymers and NBR rubber during testing, case of fixed abrasive: a – PP2015, b – UHMWPE, c – 50DS210, d – 60DS210, e – NBR (compiled by the authors).





Pic. 7. Profiles of wear holes of materials: 1 – 50DS210, 2 – 60DS2010, 3 – UHMWPE, 4 – PP2015, 5 – BNK (performed by the authors).

and UHMWPE, it increased from 0,32 to 0,36. With a further increase in speed to 0,3 m/s, the friction coefficient was 0,5 and 0,49 for PP2015 and UHMWPE, respectively. The coefficient of friction of NBR 0,8–0,9 increased proportionally in the entire range of sliding speeds.

Pic. 5. shows the weight loss of samples due to the change in the pressure in the contact area during testing.

For NBR rubbers, the weight loss increased in proportion to the pressure. The wear of TPU samples at low pressures up to 0,34 MPa is insignificant, with a further increase in pressure to 0,54 MPa for both 50D2S10 and 60D2S10 it increases from 0,01 to 0,04 g. The minimum weight loss was obtained for PP2015 polypropylene. Pic. 6 shows the morphology of friction surfaces of samples.

The friction surfaces of PP02015 polypropylene and UHMWPE with a minimum wear value of 0,003 and 0,004 g, respectively, did not have deep grooves or grooves in the direction of sliding of the fixed abrasive grain. The waviness of the surface indicates the gradual accumulation of damage and separation of wear particles by the fatigue mechanism. The friction surfaces of samples 50DS210 and NBR had

marks in the sliding direction along the entire length. It can be assumed that micro-cutting was the prevailing wear mode. For 60DS2010 samples, the wave height was minimal, and the wear pattern can be attributed to the fatigue wear mechanism during friction against the fixed abrasive grain.

Pic. 7 shows the profiles of the wear holes of polymeric materials and NBR when tested with an unfixed abrasive.

In contrast to tests with a fixed abrasive, the minimum weight loss was shown by TPU50DS210 and 60DS2010 samples. Samples of UHMWPE moved to the third place. The largest weight loss was shown by PP2015 and NBR samples, respectively. Pic. 8 shows fragments of wear holes of material during friction against a free abrasive.

The friction surfaces of 50DS210, 60DS2010 and NBR had longitudinal notches in the direction of sliding of the abrasive grain and the wear mechanism can be attributed to micro-cutting. The waviness of the surface of UHMWPE and PP2015 samples indicates gradual accumulation of damage and separation of wear particles by the fatigue mechanism. Various test results for friction with free and fixed abrasive



a



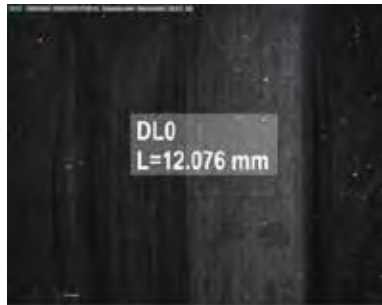
b



c



d



e

Pic. 8. Morphology of friction surfaces of polymers and rubber NBR during testing, case of free abrasive: a – 50DS210, b – 60DS2010, c – UHMWPE, d – PP2015, e – NBR (performed by the authors).

grain indicate that when testing TPU PP2015, sandpaper was coated with polymer particles due to adhesion and the wear rate and coefficient of friction decreased. For polymers 50DS210, 60DS2010, the minimum loss of mass during friction in case of a free abrasive indicated that their hardness was higher than that of a rubber disc, and some of abrasive particles were simply pressed into the generatrix of the disc. Despite different results, both test methods complemented each other and gave a complete characteristic of polymeric materials used in the assemblies of

machines and mechanisms, when it is possible to act on the friction surface with a fixed or a free abrasive grain.

DISCUSSION OF RESULTS

The analysis of the studies carried out by international authors shows a tendency to expand the use of polymeric materials in polymer-steel tribo-pairs in the presence of liquid and plastic lubricants. NBR samples are inferior in all respects to TPU polyurethanes, UHMWPE and PP2015 samples. Currently, in a significant



number of rolling stock friction assemblies, the now operated rubber seals, shock absorbers, gaskets, corrugated hoses are used, which can be successfully replaced with more reliable materials with lower friction coefficients and higher seizure loads compared to NBR. The use of TPU, UHMWPE and PP2015 will increase reliability and service life of rolling stock friction assemblies. Materials such as TPU 50DS210, 60DS2010 and UHMWPE can be further used in friction assemblies as a replacement for rubber products for manufacture of sealing rings, oil seals, gaskets, and corrugated hoses and tubing. PP2015 polypropylene can be used instead of rubber in control panels, tipping mechanisms and devices inside the rolling stock.

CONCLUSION

Obtained regularities of the change in coefficients of friction of 50D2S10, 60D2S10 polyurethanes, UHMWPE and PP2015 on pressure and sliding speed showed that these materials are superior to NBR regardless of the grade of surface roughness of 40X steel. The seizure load of the proposed polymeric materials is higher than that of NBR in the entire range of studied loads and speeds.

Regularities of changes in the coefficients of friction and weight loss of samples on pressure have been also identified following the results of tests with fixed and free abrasive. The coefficient of friction of PP2015 polypropylene had values of 0,3–0,36, while for NBR it was 2,5 times higher and amounted to 0,85–1,0 with friction against a fixed abrasive. UHMWPE samples showed a stable result in relative weight loss when tested with a free and fixed abrasive. The smallest wear was observed for PP2015 and 50DS210, 60DS2010 samples with friction against a fixed abrasive and a free abrasive, respectively.

REFERENCES

1. Kurzina, E. G. Improvement of damping elastic polymer elements of freight wagon running gears. Ph.D. (Eng) thesis [*Sovershenstvovanie dempfiruyushchikh uprugikh polimernykh elementov khodovykh chastei*

gruzovogo vagona. Dis...kand. tekh. nauk]. Moscow, MIIT publ., 2019, 228 p.

2. Tao, Guan; Peng Hui; Yong, Gao; Kun, Yang. Condition monitoring of PTFE composite material bearing through the correlation between lubricant condition and wear simulation. Fourth International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS), 2017, pp. 1028–1033. DOI: 10.1109/ICTIS.2017.8047896.

3. Bingqi, Jiang; Xiaohong, Jia; Zhugang, Wang; Tao, Wange; Fei, Guo; Yuming, Wang. Influence of Thermal Aging in Oil on the Friction and Wear Properties of Nitrile Butadiene Rubber. *Tribology Letters*, 2019, pp.67–86. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11249-019-1201-8>.

4. Dong, Feng; Ming-xeu, Shen; Xu-dong, Peng; Xiang-kai, Meng. Surface Roughness Effect on the Friction and Wear Behaviour of Acrylonitrile–Butadiene Rubber (NBR) Under Oil Lubrication. *Tribology Letters*, 2017, pp. 65–10. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11249-016-0793-5>.

5. Angerhausen, J., Woyciniuk, M., Murrenhoff, H. [et al]. Simulation and experimental validation of translational hydraulic seal wear. *Tribology international*, 2019, Vol. 134, pp. 296–307. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.01.048>.

6. Balasooriya, W., Schritteser, B., Chao, Wang; Hausberger, A., Pinter, G., Schwarz, T. Tribological Behavior of HNBR in Oil and Gas Field Applications. *Lubricants*, 2018, pp. 6–10. DOI: <https://doi.org/10.3390/lubricants6010020>.

7. Krasnyi, V. A., Maksarov, V. V. Improving wear resistance of friction assemblies of oil-well pumps having seals from directionally reinforced polymer composites. *Chemical and Petroleum Engineering*, 2017, Vol. 53, pp. 121–125. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-017-0306-x>.

8. Gheisari, R., Polycarpou, A. A. Tribological performance of graphite-filled polyimide and PTFE composites in oil-lubricated three-body abrasive conditions. *Wear*, 2019, pp. 436–437, 203044. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.203044>.

9. Jie, Zhou; Blair, B., Argires, J. [et al]. Experimental Performance Study of a High Speed Oil Lubricated Polymer Thrust Bearing. *Lubricants*, 2015, Vol. 3, pp. 3–13. DOI: <https://doi.org/10.3390/lubricants3010003>.

10. Capanidis, D., Sokolska, J. Effect of pressure and sliding speed on the friction coefficient of polyurethane elastomers (EPUR) of different hardness during their friction on steel when lubricating with grease. *Tribologia*, 2019, Vol. 5, pp. 33–41. DOI: 10.5604/01.3001.0013.6559.

11. Guezmil, M., Bensalah, W., Mezlini, S. Tribological behavior of UHMWPE against TiAl₆V₄ and CoCr₂₈Mo alloys under dry and lubricated conditions. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 2016, Vol. 63, pp. 375–385. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmbm.2016.07.002>.

12. Prints, A. N., Biryukov, V. P. Investigation on tribological characteristics of polymer materials during abrasive wear [*Issledovanie tribologicheskikh kharakteristik polimernykh materialov pri abrazivnom iznashivanii*]. XXXII International Innovative Conference of Young Scientists and Students on Mechanical Engineering Problems: Proceedings of the conference. Moscow, 2021, pp. 228–234. ●

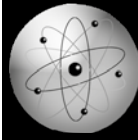
Information about the authors:

Kulikov, Mikhail Yu., D.Sc. (Eng), Professor of Russian University of Transport, Moscow, Russia, muk.56@mail.ru.

Biryukov, Vladimir P., Ph.D. (Eng), Leading Researcher of Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, laser-52@yandex.ru.

Prints, Anton N., Junior Researcher of Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, tosha.prints.94@mail.ru.

Article received 13.04.2021, approved 15.06.2021, accepted 27.06.2021.



Fluxgate Sensors for Onboard Weighing Systems of Heavy-Duty Dump Trucks



Anatoly P. NIKISHECHKIN



Lev M. DUBROVIN



Vladimir I. DAVYDENKO

Anatoly P. Nikishechkin¹, Lev M. Dubrovin², Vladimir I. Davydenko³

¹Moscow State University of Technology, Moscow, Russia.

²Russian University of Transport, Moscow, Russia.

³Moscow Railway, a subsidiary of JSC Russian Railways, Moscow, Russia.

✉ ¹ anatolij-petrovich@yandex.ru.

ABSTRACT

The article reviews the results of the authors' research on the possibility of using the magnetic field strength generated by DC traction motors as a useful signal carrying information about weight of cargo transported by a mining dump truck.

The objective of the research was to find a way to determine weight of cargo carried by a mining dump truck. In contrast to the existing onboard weighing systems, it becomes possible to create a compact autonomous device that does not require integration of sensors into the body structure and electrical circuits of the truck.

Problems of increasing the efficiency of measuring devices based on fluxgate converters are considered with the view of using them as onboard systems for estimating cargo weight. The sensitivity of the fluxgate sensor can be increased by increasing both the amplitude and the effective value of the voltage applied to its excitation winding. The proposed original circuit for feeding the fluxgate sensor's excitation winding from a modulated signal generator made on logical elements allows increasing the voltage supplied to the fluxgate sensor's excitation winding without increasing the supply voltage, and by increasing voltage surges at the fronts of rectangular modulated high-frequency pulses, as well

as due to resonant phenomena. The use of such a generator excludes the influence of the fluxgate sensor's excitation winding on the generator frequency, since the frequency of modulating signals becomes the operating frequency of the fluxgate sensor, and it remains unchanged. The increased sensitivity makes it possible to install the sensor in any convenient place in the dump truck cab, and not in the immediate vicinity of traction motors.

Evaluation of cargo weight is carried out during movement of the dump truck along the control section of the road. The readings are taken from an ammeter (milliammeter), the scale of which is pre-calibrated in mass units. Measurements of mass should be carried out under the same modes of dump truck movement and with the same location of the fluxgate sensor as when calibrating the scale of the measuring device. The control section of the route on which the measurements are carried out must be the same or similar to the one on which the measuring device was calibrated.

The proposed device is distinguished by ease of use, is characterised by low energy consumption, is compact, does not contain expensive elements and does not require careful maintenance.

Keywords: transport, onboard weighing systems, load mass, mining dump truck, DC traction motors, magnetic field strength, fluxgate sensor.

For citation: Nikishechkin, A. P., Dubrovin, L. M., Davydenko, V. I. Fluxgate Sensors for Onboard Weighing Systems of Heavy-Duty Dump Trucks. *World of Transport and Transportation*, 2021, Vol. 19, Iss. 3 (94), pp. 167–174. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-3>.

**The full 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

Determining weight of the cargo of heavy-duty vehicles used in open-cut mining enterprises is traditionally the most significant task, the solution of which can be carried out in different ways.

A rough estimate of the degree of filling the body with rock mass, which takes place at about 95 % of enterprises, provides that the excavator driver respects the loading specifications. The loading specifications for each type of vehicle determine the order of placing the cargo and uniformity of its distribution in the body, as well as the necessary parameters of the load «heap» [1].

However, compliance with the requirements of the loading specifications is ineffective for assessing the mass of the cargo due to its inaccuracy. When controlled according to the loading specifications, the «underload–overload» range is ± 25 % and more [1, p. 132].

For a more accurate measurement, stationary truck scales are used. Such scales are reliable, have a large margin of safety, however, they require that the entire truck is situated on the platform, which leads to a loss of time. Besides, the location of the loading site can change quite often. There are also mobile scales, but it is not always convenient to use them [3, p. 147].

The most effective way is to automatically control loading using built-in onboard systems. Onboard weighing systems (OWS) use special sensors such as pressure sensors and strain gauges [4].

Most often, onboard systems used on mining dump trucks determine the mass of the cargo by the steady-state values of gas pressure in suspension cylinders. These systems are quite easy to install, but they are only applicable to vehicles with air suspension on all axles.

The disadvantage of such systems is dependence of measurement results on viscosity of the oil in the hydraulic system, which changes with ambient temperature fluctuations, which, in turn, affects the pressure in the system. This introduces errors in readings of the onboard weighing system based on pressure sensors. The error is also explained by the presence of significant dry friction forces in suspension cylinders. Some manufacturers solve the problem of inaccuracy by introducing the calculation of corrections into the electronic OWS software [2].

Unlike pressure sensors systems, strain gauge systems provide higher accuracy. Load cells in

onboard systems are installed between the frame and the car body and can be used on any vehicles with a tipper body and with any type of suspension. Onboard systems based on strain gauges are reliable and of low-maintenance type. However, such systems require replacement of standard body attachment units with units with strain gauges, which can be done by qualified specialists only in workshop conditions.

Since 2000, onboard weighing systems have been developed by various companies, e.g., by BELAZ holding company (Zhodino, Belarus), Vist Group (Moscow, Russia). The systems are built based on an onboard controller that collects and processes many performance indicators of a dump truck [7]. Such systems provide load normalization within ± 8 % relative to the rated carrying capacity [5].

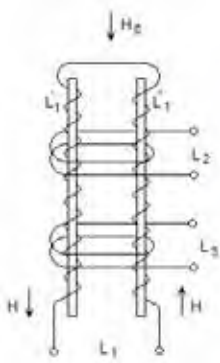
The *objective* of the research carried out by the authors was to find a way to estimate the mass of the cargo of a mining dump truck, which simplifies measurements, but does not require careful integration of sensors into structural elements of heavy-load vehicles. Such a method might increase the efficiency of the technological process for assessing weight of the cargo, significantly reduce energy, time, and financial costs, without the use of complex and expensive engineering equipment and without involvement of qualified personnel.

RESULTS

Proposed Solution

The proposed solution is as follows: the magnitude of the magnetic field strength generated by DC traction motors of a mining dump truck is measured. E.g., BelAZ-75121 dump truck uses DK-722E traction motors. These are DC brushed motors located in wheel hubs. As it is well known, the amount of current consumed by a traction motor is determined by the amount of load on its shaft, which, in turn, depends on the mass of the transported cargo and the conditions of movement: speed, features of this section of the route (hill, slope, quality of the roadbed, etc.).

The motor's current produces a constant, slowly changing magnetic field, the strength of which can be measured. The use of the strength of the magnetic field generated by the motor, instead of the motor current, as of a diagnostic parameter allows the measurement to be carried out in a non-contact way, without interfering with electrical circuits [10].



Pic. 1. Structure of a fluxgate sensor: H – fluxgate sensor's excitation field, H_0 – measured magnetic field (compiled by the authors).

The proposed solution uses the relationship between the intensity of the magnetic field generated by the DC motor and the load on the motor shaft, which determines the mass of the dump truck.

To measure the magnetic field strength, various sensors can be used, e.g., fluxgate sensors, which convert the magnitude of the magnetic field strength into the magnitude of the current. The fluxgate method of measuring the strength is quite simple, well studied and allows you to achieve the required accuracy [8; 9; 15; 16].

The motors of heavy-duty dump trucks create a sufficiently strong magnetic field, so there is no need to install a fluxgate sensor in the immediate vicinity of the motor or of power supply circuits of the motor. An ammeter (milliammeter) is used as an indication device, the scale of which is calibrated in mass units.

In practice, the location where fluxgate sensor is mounted does not matter. It is only important that it is the same both when calibrating the milliammeter scale and when measuring.

The scale is calibrated in the following sequence:

1. A route section with certain parameters is selected, which is declared a control one. For example, a plot with a constant slope and the same quality of road surface. It is advisable to choose a section with such parameters that are most typical for the proposed route of the truck.

2. The truck without cargo moves along the control section of the road in a certain mode (for example, at a constant speed). The travel time should be sufficient to take the milliammeter reading, which is further taken as zero load weight.

3. The truck moves in the same mode along the same section (or similar section) of the road

with a load, the mass of which is known. The milliammeter reading will correspond to the load weight.

4. The actions stipulated in paragraph 3, for a more accurate calibration of the scale and elimination of errors, can be repeated with a different load weight. In this case, the scale of the calibrated milliammeter turns out to be almost linear.

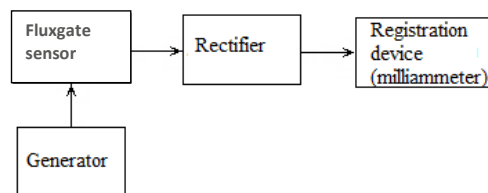
To measure mass, it is necessary to:

1. Provide a control section of the road, or a section similar to the control one in its parameters, where calibration was carried out and to which the scale of the measuring device (milliammeter) corresponds.

2. Ensure travelling of a dump truck for at least 5–10 seconds along the control section with the same constant speed at which the calibration of the measuring device scale was performed.

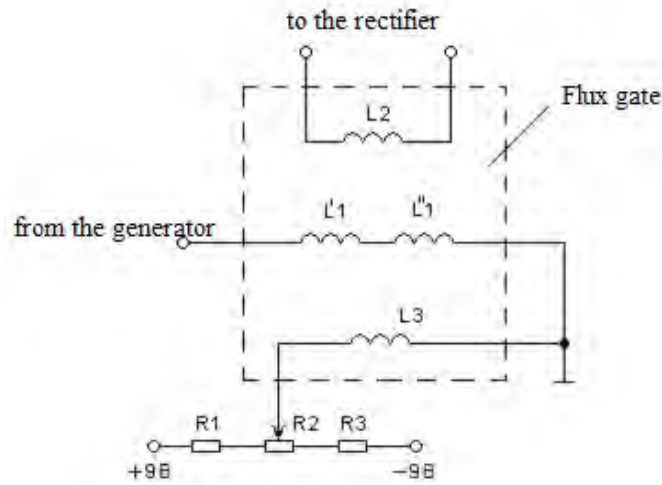
3. Make non-contact measurements using a measuring device based on a fluxgate sensor and take readings from the measuring device, the scale of which is pre-calibrated in mass units.

When measuring the weight of the cargo transported by vehicles of the same model, there is no need to calibrate the scale of the measuring device for each vehicle separately. It is enough to provide only the same place of mounting of the sensitive element (fluxgate sensor).

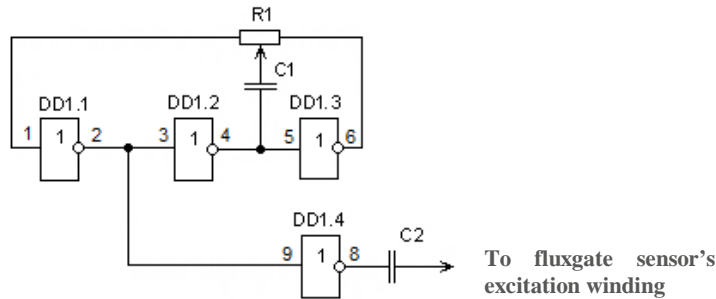


Pic. 2. Block diagram of the measuring device (compiled by the authors).





Pic. 3. Scheme of switching on the fluxgate sensor's windings (compiled by the authors).



Pic. 4. Generator of rectangular pulses for powering the excitation winding of the fluxgate sensor (compiled by the authors).

Its structure is shown in Pic. 1: the measuring winding L_2 is on top of two cores with windings L'_1 and L''_1 .

To compensate for the influence of extraneous sources, an additional third winding L_3 is provided, located on top of the main windings (not shown in Pic. 1).

The block diagram of the measuring device through which the method is implemented is shown in Pic. 2.

The block diagram includes:

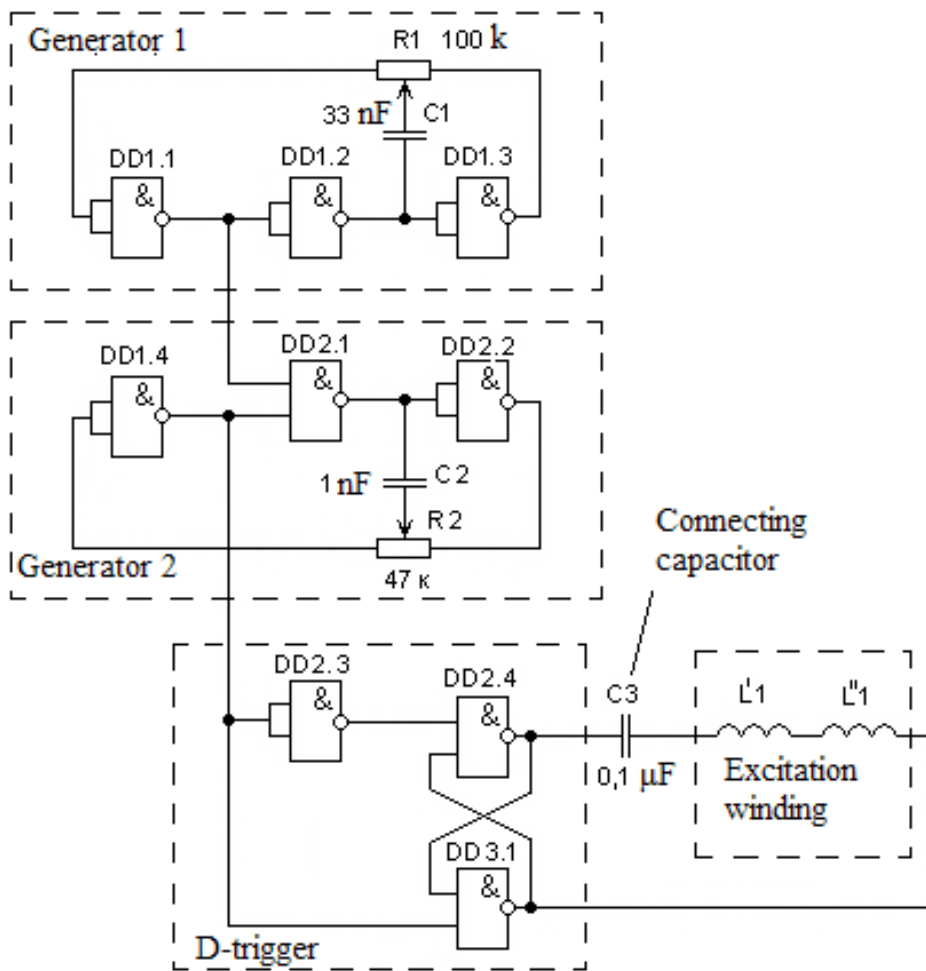
- A pulse generator that forms rectangular pulses supplied to the excitation winding L_1 of the fluxgate sensor.
- Fluxgate sensor including three windings.
- Rectifier.
- Registration device: milliammeter.

The scheme for switching on the fluxgate sensor's windings is shown in Pic. 3.

Compensation of extraneous fields is carried out with the dump truck motor turned off by a variable resistor R_2 by setting the current value to zero, measured by a milliammeter. The values of the resistors R_1 and R_3 are selected depending on the milliammeter used and the voltage value.

Experiments have shown (and this is in good agreement with the data of research literature sources) that the efficiency of fluxgate converters is largely determined by the amplitude, frequency, and shape of the excitation signal; in this case, a rectangular waveform gives a better result in comparison with a sinusoidal or triangular waveform [14; 15].

To power the fluxgate sensor's excitation winding, a simple rectangular pulse generator can be used, the diagram of which is shown in Pic. 4.



Pic. 5. Modified circuit for feeding the excitation winding of the fluxgate sensor (compiled by the authors).

The circuit contains four logical NOT elements (K561 LN2 microcircuit), powered by a 9-volt source. The generator itself comprises first three NOT components. The fourth NOT component (DD1.4) is useful for eliminating the influence of the fluxgate sensor's excitation winding on the generator operation. Resistor R_1 and capacitance C_1 are frequency setting elements. The resistor R_1 controls the generator frequency. For the fluxgate sensor described above, a frequency of 2 kHz is used. The circuit is simple, has low power consumption, allows a compact and economical implementation, and makes it possible to reduce the size of the measuring device.

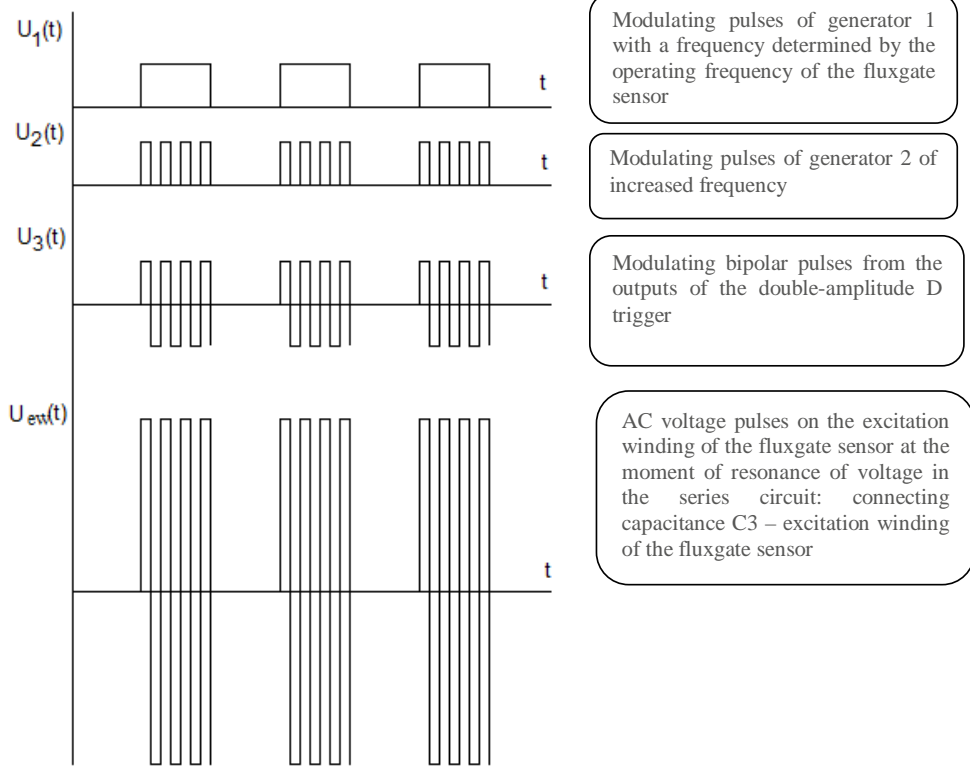
The circuit uses capacitive coupling of the generator with the fluxgate sensor's excitation winding (capacitance C_2 in Pic. 4). This makes it possible to exclude the direct component of the

generator signal and, consequently, to reduce the excitation winding's current and the power consumption of the measuring device [15].

The use of a circuit based on NOT logic components (Pic. 4) as a generator makes the measuring device simple, reliable, and compact.

Studies have shown that sensitivity of the fluxgate sensor can be increased by increasing the voltage (amplitude and effective value) supplied to the excitation winding from the generator. For this purpose, it is possible to use the resonance phenomena arising in the resulting series circuit: the capacitor C_2 – excitation winding of the fluxgate sensor. By selecting the value of the capacitance of the connecting capacitor and the frequency of the generator, it is possible to achieve a sharp increase in the sensitivity of the fluxgate sensor. This is due to an additional increase in the voltage across the





Pic. 6. Timing diagrams of voltages (compiled by the authors).

excitation winding due to the resulting voltage resonance.

Studies have also shown that at an increased frequency of fluxgate sensor's feeding, the voltage on the excitation winding increases due to voltage surges arising on the positive and negative edges of rectangular pulses when the generator is operating to produce inductive load. But for a significant increase in voltage (and for a consecutive increase in the fluxgate sensor's sensitivity), a power supply frequency of the order of 100 kHz or more is required. However, the specified frequency of the fluxgate sensor, at which its operation is most effective, is lower than these values.

Thus, to increase the sensitivity of the fluxgate sensor, it is required to increase the frequency of the voltage supplied to the excitation winding; then, at this increased frequency to achieve voltage resonance, but at the same time to ensure the standard specified operating frequency of powering the excitation winding of the fluxgate sensor.

To increase the frequency of the fluxgate sensor's power supply voltage and maintain the required rated frequency, it is proposed to use two generators to power the fluxgate sensor. The first generator generates modulating rectangular pulses that power the excitation winding. The repetition rate of these pulses is determined by the operating frequency of the fluxgate sensor. The first generator controls operation of the second generator, which generates modulated square-wave pulses of increased frequency. At this frequency (at a certain value of the capacitance of the connecting capacitor), voltage resonance appears, and the effect of voltage surges on the amplitude and effective value of the voltage of the pulse generated by the first generator becomes noticeable. In this case, high-frequency pulses of the second generator occur only at the moments of the presence of pulses of the first generator.

The modified circuit for powering the excitation winding takes the form shown in Pic. 5.

Generator 1 and generator 2 are of the same type, both are made on three 2AND-NOT elements of the 564LA7 microcircuit. The amplitudes of the pulses that they generate are determined by the supply voltage of the generators. Elements R, C of generators set the required frequencies. Variable resistance R1 of generator 1 provides tuning of modulating pulses to the operating frequency specified in the documentation for the fluxgate sensor. Variable resistance R2 of generator 2 sets a high frequency of modulated pulses, which provides resonance of the voltage across the excitation winding. The value of the capacitance of the connecting capacitor C3, as a rule, does not exceed 0,1 μF .

Pic. 6 shows voltage timing diagrams that explain the purpose and operation of individual parts of the circuit shown in Pic. 5.

At frequencies of 100–200 kHz of modulated pulses, the influence of voltage surges (not shown in Pic. 6), which occur during operation producing an inductive load, on the magnitude of both the amplitude and the effective value of the voltage across the excitation winding of the fluxgate sensor, is clearly noticeable.

The duration of surges is short and amounts to a few microseconds, but their amplitude can be several times higher than the voltage in a rectangular pulse. And at an increased repetition rate of modulated pulses, their duration becomes commensurate with the duration of the pulses themselves, and the effect of surges on the voltage of the excitation winding increases significantly.

A further increase in frequency above 200 kHz is undesirable since it leads to a noticeable increase in power consumption.

In the circuit shown in Pic. 5, the voltage from the output of generator 2 is applied to the excitation winding through D-trigger. This makes it possible to obtain a bipolar voltage waveform with double the voltage swing, which also increases the sensitivity of the measuring device. In addition, when using a trigger, the influence of the fluxgate sensor's excitation winding on the generator operation is reduced.

Such a modification of the generator circuit makes it possible to significantly increase the sensitivity of the fluxgate converter without increasing the voltage of the power source.

Experimental Verification

During the experiments, the tested fluxgate sensor had the following winding data:

- Diameter of the field winding wire was 0,3 mm, the number of turns of each half of the excitation winding was 200. There was single layer winding, turn to turn. It connects to a pulse generator.

- Measuring winding: number of turns was 2000, wire diameter was 0,1 mm. The winding was multilayer one, turn to turn. The measuring winding is connected through a rectifier to a recording device, which is a DC ammeter (milliammeter).

- The diameter of the wire of the additional winding was 0,1 mm, the number of turns was 500.

To protect the fluxgate sensor against extraneous external influences, a protective casing was used, which was a brass tube [14].

Experimental verification was carried out by the authors at the Ekibastuz coal basin (Severny mine) on BelAZ-75121 heavy-duty dump trucks using DK-722E traction motors. The experiment showed almost complete coincidence of the value of the weight of the cargo, obtained with the help of a fluxgate sensor measuring device, with the value measured on a truck scale. It was also experimentally established that the readings of the measuring device do not depend on unevenness of the roadway. In addition, strict compliance of the measuring section of the road with the section on which the calibration of the measuring device was performed is not required. The main thing is to provide a similar slope of the track, as well as the same speed without sudden jerks and braking.

TECHNICAL RESULT AND CONCLUSIONS

The proposed non-contact method for measuring the load mass eliminates the need to embed sensors into structural elements and electrical circuits of a vehicle, does not require complex engineering equipment, and reduces time and costs of measurements, while ensuring sufficient accuracy.

A measuring device with a fluxgate sensor and a milliammeter can be installed almost anywhere in the truck, which provides convenient recording of measurement results.

The proposed method is easy to use. The device that implements the method is characterized by low energy consumption, it is compact, does not contain expensive elements and does not require careful maintenance. Preparing the device for operation consists in calibrating the scale of the measuring device (milliammeter) in mass units.



REFERENCES

1. Fainvilit, M. A., Ilvuldin, D. Kh. Substantiation of the loading specifications for HD-1200 and Cat-785 dump trucks at Udachninsky GOK [Obosnovanie pasporta zagruzki avtosamosvalov HD-1200 i Cat-785 na Udachinskom GOKe]. *Gorniy Zhurnal*, 2000, Iss. 7, pp. 49–51.
2. Dyakov, V. A. Transport machines and opencast mining complexes [Transportnie mashiny i kompleksy otkrytykh razrabotok]. Moscow, Nedra publ., 1986, 344 p.
3. Vasiliev, M. V. Transport processes and equipment in quarries [Transportnie protsessy i oborudovanie na kar'erakh]. Moscow, Nedra publ., 1986, 240 p.
4. Kuleshov, A. A., Semyonov, M. A. Efficiency and prospects of application of onboard loading control systems and accounting for operation of mining dump trucks [Effektivnost i perspektivy primeneniya bortovykh sistem kontrolya zagruzki i ucheta raboty kar'ernykh avtosamosvalov]. *Gornie mashiny i elektromekhanika*, 2000, Iss. 3, pp. 35–38.
5. Semyonov, M. A., Bolshunova, O. M. Improving the accuracy of weighing the cargo in the body of a dump truck [Povyshenie tochnosti vzveshivaniya massy gruzha v kuzove kar'ernogo avtosamosvala]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*, 2009, Iss. 9, pp. 39–41.
6. Semyonov, M. A., Bolshunova, O. M. Control of loading of dump trucks [Kontrol zagruzki kar'ernykh avtosamosvalov]. *Notes of the Mining Institute*. St. Petersburg, 2008, Vol. 178, pp. 143–145.
7. Rudenko, V. A., Klebanov, A. F. Experience in the use of onboard controllers on dump trucks «BelAZ» [Opyt primeneniya bortovykh kontrollerov na kar'ernykh samosvalakh «BelAZ»]. *Gornaya promyshlennost*, 2002, Iss. 6, pp. 38–39.
8. Afanasyev, Yu. V. Fluxgate sensors [Ferrozondovye pribory]. Leningrad, Energoatomizdat publ., 1986, 188 p.
9. Milovzorov, V. P. Electromagnetic automation devices [Elektromagnitnye ustroystva avtomatiki]. Moscow, Vysshaya shkola publ., 1974, 414 p.
10. Nikishechkin, A. P., Dubrovin, L. M., Davydenko, V. I. DC motor as a source of diagnostic information [Dvigatel postoyannogo toka kak istochnik diagnosticheskoi informatsii]. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol, diagnostika*, 2016, Iss. 7, pp. 53–58. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26700269>. Last accessed 24.12.2020.
11. Nikishechkin, A. P., Dubrovin, L. M., Davydenko, V. I. Measurement of the mass of the load of hoisting-and-transport devices by the parameters of the magnetic field generated by DC motor [Izmerenie massy gruzha pod'emno-transportnykh ustroystv po parametram magnitnogo polya, sozdavaemogo dvigatelem postoyannogo toka]. *Vestnik MGTU Stankin*, 2016, Iss. 1, pp. 64–67.
12. Nikishechkin, A. P., Dubrovin, L. M. Operational identification of cutting force with the parameters of the magnetic field generated by DC motor of the main motion drive [Operativnoe opredelenie sily rezaniya poparametram magnitnogo polya, sozdavaemogo dvigatelem postoyannogo toka privoda glavnogo dvizheniya]. *Vestnik MGTU Stankin*, 2015, Iss. 4, pp. 42–45. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25286530>. Last accessed 24.12.2020.
13. Baranova, V. E. Measurement of a weak magnetic field based on a fluxgate sensor. Ph.D. (Eng) thesis: 05.11.01 [Izmerenie slabogo magnitnogo polya na osnove ferrozondovogo datchika. Dis... kand. tekhn. nauk: 05.11.01]. Tomsk, 2015, 134 p.
14. Dubrovin, L. M., Nikishechkin, A. P., Davydenko, V. I. A method for train weight estimation. *World of Transport and Transportation*, 2016, Vol. 14, Iss. 2 (63), pp. 48–55. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/909/1185>. Last accessed 24.12.2020.
15. Dubrovin, L. M., Nikishechkin, A. P., Davydenko, V. I. Improving the efficiency of measuring devices based on flux-gate converters [Povyshenie effektivnosti izmeritelnykh ustroystv na baze ferrozondovykh preobrazovatelei]. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika*, 2018, Iss. 2, pp. 28–33. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32607744>. Last accessed 24.12.2020.
16. Nikishechkin, A. P., Dubrovin, L. M., Davydenko, V. I. Frequency-metric method of constructing measuring devices based on a fluxgate converter [Chastotometricheskii sposob postroyeniya izmeritelnykh ustroystv na baze ferrozondovogo preobrazovatelya]. *Vestnik MGTU Stankin*, 2019, Iss. 4 (51), pp. 28–31. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41866485>. Last accessed 24.12.2020.
17. Pakhomov, P. I., Kaplina, T. Yu. Automatic weighing of rock mass transported by a quarry vehicle [Avtomaticheskoe vzveshivanie gornoj massy, perevozimoj kar'ernym avtotransportom]. *Gorniy informatsionno-analiticheskii byulleten*, 2006, Iss. 5, pp. 268–274. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9484915>. Last accessed 24.12.2020.
18. Nelson, L. J. A load on the road. *Traffic Technol. Int.*, 2002. June–July. [Electronic resource]: <https://www.semanticscholar.org/paper/A-LOAD-ON-THE-ROAD-Nelson/dc94ac717247ec58933f8687b96bb86097d86282>. Last accessed 24.12.2020.
19. Verfahren und Vorrichtung zur Ermittlung des Gewichts der Masse eines Fahrzeugs. Appl. 19963402 Germany, G 01 G19/08/ RIES-Mueller Klaus; Robert Bosch GmbH, No. 19963402.5.
20. Verfahren zur Feststellung der Gewichtsbelastung einer gegenueber dem Fahrzeugaufbau gefederten, luftbereiften Fahrzeugachse. Appl. 10127567 Germany IPC7 B 60 P 5/00% B 60 G 17/04 Ebert Joerg; BPW Bergische Achsen KG, No. 10127567.6; Appl. 06.06.2001; Publ. 12.12.2002.
21. Lenz, J. E. A Review of Magnetic Sensors. *Proceeding of the IEEE*, 1990, Vol. 78, Iss. 6, pp. 973–989. DOI: 10.1109/5.56910.
22. Ripka, P. *Magnetic Sensors and Magnetometers*. Boston: Artech house, 2001, 494 p.
23. Baschiroto, A., Dallago E., Ferr, M., Malcovati, P. A 2D Micro-Fluxgate Earth Magnetic Field Measurement Systems with Fully Automated Acquisition Setup. *Measurement*, 2010, Vol. 43 (1), pp. 46–53. DOI: 10.1016/j.measurement.2009.06.007.
24. Butta, M., Ripka, P. Model for coil-less fluxgate. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2009, Vol. 156, Iss. 1, pp. 269–273. DOI: 10.1016/j.sna.2009.08.026.
25. Chong, Lei; Jian, Lei; Zhen, Yang; Tao, Wang; Yong, Zhou. A low power micro fluxgate sensor with improved magnetic core. *Microsystem Technologies*, 2012, Vol. 19, Iss. 4, pp. 591–598. DOI: 10.1007/s00542-012-1669-8. ●

Information about the authors:

Nikishechkin, Anatoly P., Ph.D. (Eng), Associate Professor at the department of Computer Control Systems of Moscow State University of Technology (MSTU Stankin), Moscow, Russia, anatolij-petrovich@yandex.ru.

Dubrovin, Lev M., Senior Lecturer at the Department of Transport Electric Power Engineering of Russian University of Transport, Moscow, Russia, wellew49@gmail.com.

Davydenko, Vladimir I., Senior Electrician of Engineering Centre for Automation and Telemechanics of Moscow Railway, a subsidiary of JSC Russian Railways, Moscow, Russia, vlad47mir@yandex.ru.

Article received 18.08.2020, approved 19.11.2020, updated 27.02.2021, accepted 23.04.2021.

T



REGIONAL TRANSPORT AND LOGISTICS SYSTEM 176

Features of the analysis of its current state, development, and implementation of infrastructure projects in the Arctic zone of the Russian Federation shown by the example of Yamal-Nenets Autonomous Area.



THE PRICE OF INNOVATION 187

Adoption of set of technology products from the point of view of the process economics.

ECONOMICS





The Role of Regional Transport and Logistics Infrastructure in Development of a Single Economic Space



Natalia L. NIKULINA



Lidia M. AVERINA

*Natalia L. Nikulina¹,
Lidia M. Averina²*

^{1,2} Institute of Economics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia.

✉ ¹ nikulinanl@mail.ru.

ABSTRACT

The objective of the article is to show the importance of modernisation and development of the transport and logistics system of the Yamal-Nenets Autonomous Area (hereinafter – YNAA) for socio-economic development of the country, of its single economic space, and implementation of its export capacity.

The current state of the transport system of YNAA is analysed considering a particular role of transport system of the region in development of the Arctic zone of the Russian Federation (hereinafter – the AZRF), while showing the inconsistency of the existing level of its development with the needs of the economy and the population of the area, the strategic goals of development of the Russian Arctic and the country. The research used general scientific methods, e.g., analysis and synthesis.

The implementation of several large infrastructure projects in YNAA being initiated at the federal level requires the corresponding development of the regional transport and logistics infrastructure and the solution of transport problems in this region. Modernisation

and development of the regional transport and logistics infrastructure through implementation of infrastructure projects will allow: to form a single interconnected transport space with a significant reduction in infrastructure constraints for development of YNAA; to achieve the required level of population mobility and transport accessibility of municipalities for all categories of population; to combine the mainland and port infrastructure within a single logistics system through implementation of federal infrastructure projects in parallel with measures to develop the existing regional transport infrastructure; to integrate the transport complex of YNAA as part of the transport system of the Russian Federation into the world transport system.

The development of an effective regional transport and logistics system within the framework of the corresponding federal system, considering the geostrategic features and geo-economic potential of the region, will remove infrastructural constraints for development of the national economy and the region's economy.

Keywords: transport and logistics infrastructure, a single economic space, the Arctic zone of the Russian Federation.

For citation: Nikulina, N. L., Averina, L. M. The Role of Regional Transport and Logistics Infrastructure in Development of a Single Economic Space. World of Transport and Transportation. Vol. 19. Iss. 3 (94), pp. 176–186. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-4>.

Acknowledgments and funding. The article was prepared in accordance with the 2021 Research Plan for the Laboratory for Modelling the Spatial Development of Territories of the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

*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

At the present stage of economic development of the Russian Federation, considering the need for accelerated economic growth, the role of the transport system is strengthening considerably. The tasks of developing the transport system at this stage of the country's development are aimed at ensuring economic growth through transport, improving the quality of life of the population [1]. Development of a single economic space of the country through growth of its territorial connectivity as one of the determining functions of transport activity is acquiring further importance.

The development and improvement of the transport and logistics infrastructure in Russia is determined by the need to eliminate existing constraints for socio-economic development of the country: a certain lag in development of transport infrastructure as compared with the production sector, the presence of infrastructural problems in development of a single transport space and implementation of the transit potential of the Russian Federation, logistics constraints for exports of Russian goods to world markets [2].

Research of transport logistics infrastructure problems was described in works of J. Bowersox [3], G. Ghiani [4], S. Yu. Maksimova [5], L. B. Mirotin [6], T. A. Prokofieva [7], Zh. S. Raimbekova [8] and others.

The transport complex plays a special role in the development of the Arctic zone of the Russian Federation (AZRF), the development of which in modern geo-economic conditions is of great importance. Recognition of the Russian Arctic not just as a raw-material appendage of the country, but as a zone of its strategic interests, determines the increasing role of its socio-economic development [9].

According to Ya. A. Bolshakov, the development of the Arctic zone is viewed not only as an opportunity to explore new natural resources, but also as a means of launching the innovative development of the Russian economy as a whole [10].

N. A. Komleva notes that «while the strategies of the developed Arctic states are focused mainly on development of their northern Arctic territories, the Arctic Strategy of Russia, in addition to the development of the

AZRF itself, is aimed at solving the overarching task: based on implementation of the potential of the Arctic to promote modernisation of the economy of the whole country. The most important challenge is precisely how to use the Arctic natural resources and mega-projects to launch the process of innovative development, both in the Arctic itself and in the Russian economy» [11].

Besides, this is due to a significant increase in the geostrategic and economic potential of the AZRF at the present stage of development of the Russian Federation [12]. The growth of economic potential is primarily due to the prospects for increasing the resource potential of the Russian Arctic. The developed hydrocarbon fields provide for production of more than 80 % of natural gas and 17 % of oil produced in Russia, additional growth will be provided due to the exploration of new fields on the Gydan Peninsula and the Yamal Peninsula already prepared for operation. Oil and gas reserves on the continental shelf of the Russian Federation in the Arctic are a strategic reserve for development of the mineral resource base of the Russian Federation in terms of hydrocarbon raw materials. According to experts, the reserves amount to 85,1 trillion m³ of natural gas, 17,3 billion tons of oil¹.

The geostrategic potential of the AZRF is based on the capabilities of a unique transcontinental route – the Northern Sea Route (NSR), whose task is to ensure the interests of the Russian Federation on sea routes that are effectively interfaced on the coast of the Arctic Ocean with routes of other modes of transport. Emphasising the importance of the geostrategic potential of the AZRF and its connection with infrastructural development of the territory, political scientist D. Orlov notes that this territory, besides the presence of the richest natural resources, «infrastructural development acquires an important geostrategic dimension» [13].

The importance of the task of creating and developing an efficient transport infrastructure

¹ Strategy for development of the Arctic zone of the Russian Federation and ensuring national security for the period up to 2035. App. by the Decree of the President of the Russian Federation dated October 26, 2020, No. 645. [Electronic resource]: <http://garant.ru/products/ipo/prime/doc/74710556/>. Last accessed 18.01.2021.



of this macro-region is emphasised in several strategic documents of socio-economic and spatial development of the Russian Federation and in the adopted government documents on development of the AZRF. So, in accordance with the Fundamentals of the state policy of the Russian Federation in the Arctic for the period up to 2035², the main national interests of the Russian Federation in the Arctic include development of infrastructure for all modes of transport; the measures for development of all modes of transport in the AZRF and the transport and logistics system of the macro-region are highlighted as the main measures aimed at implementation of the Strategy for development of the Arctic zone of the Russian Federation and ensuring national security for the period up to 2035¹. These strategic documents contain the main measures in the field of infrastructure development of the AZRF:

- Development of the NSR as a competitive national transport communication route of the Russian Federation on the world market.

- A set of measures aimed at developing the mainland and port infrastructure and combining them within a single transport and logistics system.

As V. S. Selin notes, «one of the important tasks is to improve the transport infrastructure in the regions of the exploration of the Arctic continental shelf to diversify the main routes for supply of Russian hydrocarbons to world markets» [14].

The development of the transport and logistics infrastructure of the AZRF from the standpoint of development of a single economic space of the country is discussed in detail in the Strategy for spatial development of the Russian Federation for the period up to 2025³. The Strategy stipulates creation of a single backbone transport network of the Russian Federation as the most important direction of spatial development, and sets the task of

removing infrastructure constraints including those that prevent an increase in the scale of economic development of the Arctic, as well as an increase in the importance of the Northern Sea Route as an international transport corridor. These infrastructural constraints are associated with difficult natural, geographic, and climatic conditions, an outdated configuration of the transport network due to the focal nature of economic development of the territory, as well as the technological and structural lag in development of the transport infrastructure of the Arctic territories. A set of measures presented in the Comprehensive plan for modernisation and expansion of the trunk infrastructure for the period up to 2024 is aimed at reducing the infrastructural constraints for development of the Russian Federation, including in the northern regions of the Russian Federation. The transport part of the Comprehensive plan includes, among other things, measures for development of the transport infrastructure of the AZRF:

- A set of measures for development of the port infrastructure of the Arctic basin (as part of the federal project «Russian seaports»).

- A set of measures as part of the federal project «Northern Sea Route».

Considering the economic potential of YNAA and its geostrategic position, the role of its regional transport and logistics infrastructure is increasing regarding development of the country's economy, implementation of its export potential and development of a single economic space. The main directions of development of the transport and logistics infrastructure of YNAA, considering the national interests of the Russian Federation and the specifics of this constituent entity of the Russian Federation, are outlined in paragraph 23 of section IV of the Strategy for development of the Arctic zone of the Russian Federation and ensuring national security for the period up to 2035¹.

The *objective* of the article is to show the importance of modernisation and development of the transport and logistics system of the Yamal-Nenets Autonomous Area as a territory within the Arctic zone of the Russian Federation for socio-economic development of the country, of its single economic space, and implementation of its export capacity

² Fundamentals of the state policy of the Russian Federation in the Arctic for the period up to 2035. App. by the Decree of the President of the Russian Federation dated March 5, 2020, No. 164. [Electronic resource]: <http://garant.ru/products/ipo/prime/doc/3606526/>. Last accessed 18.01.2021.

³ Strategy for spatial development of the Russian Federation for the period up to 2035. App. By the Resolution of the Government of the Russian Federation dated February 13, 2019, No. 207-r. [Electronic resource]: <http://static.government.ru/media/files/UVAIqUfT08o60RktoOXI22JjAe7irNxc.pdf>. Last accessed 18.01.2021.

based on the analysis of the current state of the transport system of YNAA.

RESULTS

General Characteristics of the Transport Complex of YNAA and the Prospects for its Development

The transport complex of YNAA serves the population of 546,9 thousand people and economic entities operating on an area of 769,3 thousand km⁴.

A feature of this territory is the presence of the richest natural resources of hydrocarbons, usually located in a remote, inaccessible area with extreme climatic conditions, as well as its unique geopolitical position due to its access to the coast of the Arctic Ocean with its transport artery, the Northern Sea Route.

The transport complex of YNAA is represented by the following modes of transport: railway, road, inland water, sea, air, pipeline transport. At the same time, the transport infrastructure does not cover all the needs of socio-economic development of the area and the Russian Federation: the total density of public transport networks is extremely low, there is no single backbone network of land transport while there are two local backbone transport districts (Western and Eastern) not connected by land transport⁵. As a result of this gap, communication between the western and eastern territories of the area is carried out only by air transport since:

- Waterways have a meridional direction and the use of water transport is seasonal.

- The road network is underdeveloped, it includes many winter roads, which also predetermines a significant level of seasonality of road vehicles' operation.

The Western transport region of YNAA is based on the largest transport axis: the Ob River with a branch of the Northern Railway (Obskaya station) approaching it in the area of Labytnangi. In this area, Salekhard-

Labytnangi industrial and transport hub has been developed. There, large volumes of cargo are transhipped from water transport to railway and vice versa. There is a railway from Obskaya station to Yamal (Obskaya–Bovanenkovo–Karskaya railroad), which allows the delivery of goods necessary for development of mineral deposits. The sea transport of the Western region is based on the seaports of Kharasavey and Sabetta, located on the Yamal Peninsula.

The eastern transport region was formed based on Novy Urengoy–Tyumen railway section of Sverdlovsk railway, river navigable routes along the Nadym, Pur and Taz rivers with the ports of Nadym and Korotchaevo, a relatively developed network of highways with access to a single road system of the country [15].

The presence of two local backbone transport areas (Western and Eastern), practically not connected with each other by land transport, is currently the most important transport problem for the area. Another problem is territorial unevenness in development of land transport modes followed by an extremely low average total density of public transport networks. This has a negative impact on functioning of the life support system for the population and on provision [with materials and equipment] of activities of economic entities. For economic entities, aggravation of this problem, observed in recent years, is associated, among other things, with implementation of large projects for exploration, extraction, mining, and processing of hydrocarbons on the territory of YNAA. The imperfection of the regional transport infrastructure entails high transport costs, complicates supply of products from enterprises of other constituent entities of the Russian Federation, necessary for development of oil and gas fields, hydrocarbon production, construction of pipelines, etc.

Railways

The most important role in ensuring the system of daily living activity of the population and sustainable economic development of YNAA belongs to railway transport which is the only mode of transport operating all year round and which is used for mass transportation of large-tonnage cargo

⁴ Information passport of Yamal-Nenets Autonomous District (data as of 19.02.2021) // Ministry of Foreign Affairs of the Russian Federation. [Electronic resource]: https://mid.ru/maps/ru-yan/-asset_publisher...128534/. Last accessed 23.03.2021.

⁵ This is due to the focal nature of economic development of the area's territory during implementation of the program for development of the gas and oil industry of the USSR in 1970–1990.





and passengers⁶. The development of railway transport on the territory of the area is limited by the state of its infrastructure. The total length of railways in YNAA is 1648 km (including 496 km owned by JSC Russian Railways⁷), the network density is more than eight times lower than the national average⁸. Insufficient length of the railway network, lack of railway connection (including year-round) between several significant settlements of the area and with neighbouring regions is a serious problem for socio-economic development of the area, which is complicated by the peculiarity of the configuration of the railway network on its territory. Two railway lines run through the territory of the area, while they are not connected with each other and are in different parts of the area: in the Western and Eastern transport regions. The line of the Northern Railway (Obskaya station)⁹ approaches from the west the region of the upper reaches of the Ob River, the town of Labytnangi. This railway does not have a year-round transport crossing over the river near the town of Salekhard. Thus, the

administrative centre of the area (Salekhard) does not have a year-round railway connection with the north-western regions of the Russian Federation and the municipalities of YNAA located in the eastern and southern parts of the area.

The transport gap between the western and eastern parts of YNAA will be bridged following implementation of the Northern Latitudinal Railway (hereinafter – NLR) project, which envisages construction of an Obskaya–Salekhard–Nadym railroad and of feeding railway lines. The volume of transportation along the NLR, mainly of gas condensate and oil cargo, will amount to 23,9 million tons¹⁰. The significance of implementation of this project for YNAA is associated with creation of a railway connection between all major municipalities in YNAA, and unification of the Western and Eastern transport regions of YNAA. Reducing infrastructural constraints for development of the region due to construction of the NLR will contribute to diversification of YNAA economy by creating new processing industries, new jobs, increasing the mobility of the population and improving transport services for the residents of the area.

For the Russian Federation, the Northern Latitudinal Railway project is of great importance. There are 19 hydrocarbon

⁶ Currently, railway transport remains the only available mode of transport for about a third of the area's residents.

⁷ YNAA is characterised by departmental diversity of railways, they belong to various owners: JSC Russian Railways, Yamal railway company, Gazprom.

⁸ Federal State Statistics Service website. [Electronic resource]: https://rosstat.gov.ru/free_doc/new_site/business...sv/plot. Last accessed 23.03.2021.

⁹ Chum-Obkaya section with a length of 97 km (a railway branch from the Northern Railway at Vorkuta station).

¹⁰ Kuraeva, O. Three whales of Yamal [Tri kita Yamala]. *Kommersant*, 2016, Iss. 129. [Electronic resource]: <http://im.kommersant.ru>. Last accessed 18.01.2021.



deposits in its zone, enterprises of the industrial complex created in the process of exploiting the resource base of this territory are also located in its area. The NLR will transport hydrocarbons from the northern fields and local refined petroleum products. The bulk of the cargo will come from NOVATEK (8,3 million tons of gas condensate), polyethylene and WFLH (wide fraction of light hydrocarbons) from Noviy Urengoy gas chemical complex, oil and gas condensate from Rospan, Geotransgaz companies, etc.¹⁰

The implementation of the NLR project will provide:

- Creation, due to the connection of the Northern and Sverdlovsk railways, of the shortest route for transportation of gas condensate and oil cargo in the western direction, including those sent for export to the ports of the North-West part of Russia, as well as of transit (including export-import) cargo of enterprises of the Urals and Western Siberia.

- Provision of transport links for delivery of products from the enterprises of the Urals and Western Siberia, necessary for development of gas condensate and oil fields in YNAA and Khanty-Mansi Autonomous Area.

- Optimisation of loading on the existing sections of the railway network, contributing to diversification of the Russian transport system, decrease in excessive loading of the Trans-Siberian Railway.

The northern latitudinal railway is one of the most important mainline elements of Russia's strategic railway frame, which is

necessary for development of the Arctic. The other two mainline elements are the Obskaya–Bovanenkovo¹¹ railway line and non-public Bovanenkovo–Sabetta railway. These infrastructure projects represent a single complex mega-project implemented based on intersectoral and interregional cooperation¹².

The project of construction of Bovanenkovo–Sabetta railway with a length of 170 km is of particular importance for development of the transport complex of YNAA and the Arctic transport system of Russia¹⁰. This railway line will provide a year-round transport connection of the seaport of Sabetta to the mainland infrastructure and to the hydrocarbon fields of Bovanenkovo and Tambey groups; will allow in the future, with significantly lower costs, to start development of the fields close to Sabetta: Salmanovskoye (Utrenny)¹³, West and North Tambeyskoye, Tasiysky and Malyginsky¹⁴ fields and several others.

Road Facilities

The road network is used within the transport network of YNAA for intraregional road cargo and passenger transportation. In

¹¹ Service traffic on the new line was opened on January 12, 2010.

¹² Priorities and mechanisms of interregional interactions between YNAA and the Ural macro-region are considered in a study carried out by the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences as part of development of the interregional project «Arctic vector of the Ural constellation» in 2018.

¹³ Within the framework of the Arctic LNG-2 project implemented by JSC NOVATEK.

¹⁴ The Gazprom Group obtained licenses for their development.





YNAA there is a poorly developed system of hard-surface roads, which provides a permanent connection with the all-Russian road system only in the direction of Nadym–Surgut. A full-fledged automobile access of the area to the country's road network will be provided after the completion of Tyumen–Surgut–Salekhard federal highway. Implementation of this project followed by the transfer of Surgut–Salekhard highway to federal ownership will result in development of Moscow–Yekaterinburg–Tyumen–Surgut–Salekhard transport corridor.

The configuration of the network of regional highways is characterised by a tree-like structure, the basis of which is Surgut–Salekhard highway with branch roads to district centres. The disadvantage of the existing configuration is the insufficient number of connecting and chord roads, which, along with other factors, makes it difficult to form a full-fledged road network.

In terms of transport and operational status, quality of roads does not meet the needs of the economy and the population for road transportation. The general condition of the area's road facilities is characterised by a low density of public highways, the presence of many industry's owned roads of a low technical category.

Engineering Structures

The regional public roads include 225 bridges with a total length of 9148,92 l. m, which is insufficient in the presence of many water courses. The river network of Yamal–Nenets Autonomous Area is represented by more than 50 thousand rivers and streams with a total length of about 291 thousand km (the density of the river network is 0,38 km/km²)¹⁵. There are no permanent bridges when crossing water courses on Salekhard–Labytnangi, Nadym–Stary Nadym, Korotchaevo–Urengoy–Tazovsky highways. Therefore, traffic on these sections is carried out with pontoon and ferry crossings in summer, and via ice crossings in winter.

The absence of permanent bridges, low quality of highways in terms of their transport and operational condition, the low density of the road network are factors that significantly limit provision of transport services to business entities and population. Thus, with the system-forming role of highways in the area, their existing network, and its conditions are lagging the requirements of the developing economy and the state of the social sphere of YNAA. Several investment projects are aimed at solving this problem. One of the largest

¹⁵ Handbook of water resources. Water resources of Yamal–Nenets Autonomous District. [Electronic resource]: <https://waterresources/region/yamal/avtonomnyy-okrug/>. Last accessed 18.01.2021.

transport projects in YNAA was construction of Nadym–Salekhard highway. Its route runs in the same corridor as for the Northern Latitudinal Railway. The road will significantly reduce infrastructural constraints in the area, contribute to comprehensive development of the resource potential of YNAA⁴. The highway was commissioned in December 2020.

Air Transport

The main prerequisites for the development of air transport in YNAA are the absence in many municipalities of railway and year-round road connectivity, the seasonality of the use of water transport, and significant distances between settlements and industrial facilities. In these areas, the main transport load falls on aviation, which provides communication with remote, hard-to-reach settlements: this is the transportation of passengers, mail, urgent cargo, health care for the population, and meeting the needs of economic entities.

Airports are the most important elements of the air transport infrastructure. On the territory of YNAA there are nine airports that serve passengers, mail, and cargo along inter-municipal and inter-regional routes¹⁶.

The airports of the cities of Salekhard, Novy Urengoy, Nadym and Noyabrsk have runways with artificial turf and can receive aircraft of all types. Airports in the settlements of Tarko-Sale, Urengoy and Tolka have unpaved runways and are served by turboprop aircraft and helicopters¹⁷.

There are departmental and industry's owned airports on the territory of YNAA: in the villages of Yamburg and Bovanenkovo (owned and operated by Air enterprise «Gazprom avia» LLC), and Sabetta international airport (owned by NOVATEK, operated by «Sabetta International Airport» LLC). Those airports provide transportation of shift personnel and cargo transportation.

The main problems in implementation of airport activities on the territory of YNAA are:¹⁸

- The need to reconstruct artificial turf runways at the airports of the cities of Novy Urengoy and Nadym due to the high level of their physical and moral aging (up to 100 %).

- Significant wear of the structures of unpaved airfields in the settlements of Krasnoselkup, Tolka (56 % wear), Tarko-Sale (20 % wear), with a significant loss of their performance properties.

Helicopter pads¹⁸

Inter-municipal passenger air transportation to serve population of remote, inaccessible settlements is carried out using helicopters. On the territory of the autonomous area, 22 helicopter pads are equipped for inter-municipal passenger transportation, located in settlements of six municipalities (Nadym, Yamal, Priuralsky, Shuryshkarsky, Tazovsky districts, the city of Labytngani).

Considering the unsatisfactory condition of most of helicopter pads, it was deemed necessary to carry out measures for their reconstruction to make them compliant with regulatory requirements, as well as to build seven new helicopter pads in the settlements of Katravozh, Beloyarsk, Samburg, Purovsk, Khalyasavey, Tolka (Purovskaya), Purpe.

The main measures aimed at solving problems of airport activities, reconstruction and construction of new helicopter pads are contained in YNAA state program Development of transport infrastructure for 2014–2024, updated following the results of its implementation in 2014–2020¹⁸.

Pipelines

The infrastructure of pipeline transport is represented by a network of pipelines connecting the area to the central and southern regions of the Russian Federation and foreign countries. Its development is associated with development of new fields and maintenance of production at existing hydrocarbon fields through the use of new production technologies.

River Transport

River transport is the main mode of transportation for many municipalities in YNAA during the summer. River transport carries a significant amount of food, fuel, industrial goods, and construction materials imported to YNAA from other regions of

¹⁶ State register of civil aviation aerodromes and heliports. Tyumen MTU Federal Air Transport Agency. <https://favt.gov.ru/reestry-aerodromy-vertodromy/>. Last accessed 18.01.2021.

¹⁷ About Yamal // Investment portal of Yamal-Nenets Autonomous District. [Electronic resource]: <https://invest.yanao.ru/>. Last accessed 18.01.2021.

¹⁸ State program of Yamal-Nenets Autonomous District «Development of Transport Infrastructure» (as amended on February 11, 2021). App. by the Resolution of the Government of Yamal-Nenets Autonomous District dated December 25, 2013 No. 1124-P. [Electronic resource]: <http://docs.cntd.ru/>. Last accessed 23.02.2021.



Russia [15]. The use of natural waterways makes it possible to solve to a certain extent the problems of transport services provided to the population of the area and to promote development of new areas of oil and gas production that are remote and hard-to-reach for other modes of transport.

The main waterways in YNAA are the Ob River with tributaries, as well as the Nadym, Pur, and Taz rivers. The length of inland waterways on the territory of the area is 4,1 thousand km, including 3,55 thousand km of waterways equipped with aids to navigation. Currently, rivers provide seasonal connection between 52 settlements with a resident population of up to 120 thousand people¹⁹.

The problems are associated with insufficient length, unsatisfactory condition of waterways and of infrastructural facilities necessary to meet the growing demand for cargo transportation in connection with the prospects for development of new hydrocarbon deposits in the territory of the area. The solution to the problems is associated with implementation of a set of measures provided for by the Transport Strategy of the Russian Federation for the period up to 2030²⁰. The Strategy provides for a comprehensive reconstruction of inland waterways and hydraulic structures of the Ob-Irtysh water basin, including an increase in the length of inland waterways with guaranteed dimensions of fairways, as well as creation of navigable conditions for delivery of goods to hard-to-reach regions of the Far North, including small rivers and rivers rapidly becoming shallow.

There are five river ports on the territory of YNAA: in the cities of Salekhard, Labytnangi, Tarko-Sale, the villages of Yamburg and Korotchaevo. The largest river ports (Salekhard, Nadym, Urengoy) have access to railways. Salekhard river port plays an important role in the intra-area communications of Tyumen region and carries out the most important work for development

of YNAA: passenger transportation, transportation of oil products, transportation of goods by towing fleet in non-self-propelled vessels, loading and unloading operations, and comprehensive fleet services. The solution of these tasks is carried out through development of technical equipment of the port and adoption of modern technological processes for delivery of goods to the regions of the Far North. An effective model has been created for delivery of large-diameter pipes by sea with transportation by river barges in Novy Port area. With the help of floating crane mechanisation, the port is able to unload ships in any settlement of YNAA, even in the absence of equipped berths. The availability of railway auxiliary tracks in the city of Labytnangi contributes to rapid transshipment of goods.

Passenger transportation through river ports is carried out in the following main directions:

- In the northern direction to Yar-Sale, Novy Port and Antipayuta.
- In the southern direction to Muzhi, Gorki, Khanty-Mansiysk, Tobolsk and Omsk.

The network of inland waterways on the territory of the area has access to the shelf in the sea, which determines promising development of inland waterways and river ports of YNAA, considering creation of large-scale transport and logistics projects on inland waterways as part of development of international river-sea-railway transport corridors. Thus, the river ports of YNAA, considering their connection to the Arctic seaports, acquire a strategic functionality: they become one of the elements of the Arctic transport system.

Sea Transport

Sea transportation is carried out through the developing seaports of Kharasavey and Sabetta. Kharasavey is a seaport under construction in the area of Kharasavey settlement in Yamal region of YNAA, intended for transshipment of hydrocarbons from Bovanenkovskoye gas condensate field and deposits of the Kara Sea shelf. The port of Sabetta is the youngest seaport in Russia, and one of the most actively developing, located on the western coast of the Gulf of Ob in the northeast of Yamal Peninsula. Initially, construction of the port was part of

¹⁹ Passenger transportation by river transport is carried out on interregional (Omsk–Tobolsk–Salekhard, Tobolsk–Khanty-Mansiysk–Salekhard), inter-municipal and intra-municipal routes.

²⁰ On the Transport Strategy of the Russian Federation for the period up to 2030 (with amendments and additions). App. by the Resolution of the Government of the Russian Federation dated 22.11.2008 No. 1734-r. [Electronic resource]: <http://base.garant.ru/194460/>. Last accessed 18.01.2021.

the Yamal LNG project²¹. In this regard, the port was considered as a cargo port intended for transportation of liquefied natural gas by sea. At present, the port is developing as a multifunctional port, with the possibility of using it for export transportation of products manufactured in neighbouring regions. The port development project provides for construction of sea and approach channels, onshore facilities, and a navigation control system. This project is an integral part of the federal Northern Sea Route project, which is being implemented as part of the Comprehensive plan for modernisation and expansion of the main infrastructure for the period up to 2024²². In 2019, Utrenny terminal, located on the Gydan peninsula, on the opposite side of Sabetta, was included in Sabetta port complex. The terminal is intended for shipment of liquefied gas and condensate as part of the second gas liquefaction project (Arctic LNG 2)²³. It is planned to reach full capacity (19,8 million tons per year) by the end of 2024²⁴. With implementation of Arctic LNG 2 project, part of the production will go eastward, by icebreakers to Bechevinskaya Bay (Kamchatka region), where NOVATEK plans to create an LNG transshipment terminal²⁵. Further, the products are sent by ordinary tankers (without icebreakers) to Asia.

Sea transportation in Yamal district is also carried out through the Arctic Gate terminal, built in the village of Mys Kamenny, and designed to ship oil from Novoportovskoye field. Due to the fact that the field is located far from the pipeline infrastructure, the option of shipment through the Arctic Gate

²¹ Construction of a plant for production of liquefied natural gas at Yuzhno-Tambeyskoye field. [Electronic resource]: <https://gpsm.ru/deyatelnost/yamal-spg-szhizhennyj-prirodnij-gaz/#>. Last accessed 18.01.2021.

²² Comprehensive plan for modernisation and expansion of the main infrastructure for the period up to 2024. App. by the Resolution of the Government of the Russian Federation dated September 30, 2018, No. 2101-r. [Electronic resource]: <http://garant.ru/products/ipo/prime/doc/71975292/>. Last accessed 18.01.2021.

²³ Implemented by JSC NOVATEK. [Electronic resource]: [https://www.novatek.ru/common/upload/doc/MDA_12m_2020_\(Rus\)_final.pdf](https://www.novatek.ru/common/upload/doc/MDA_12m_2020_(Rus)_final.pdf). Last accessed 18.01.2021.

²⁴ Babaeva, V. Ports of the Arctic: Struggle for Leadership on the Northern Sea Route. Part 3 [Electronic resource]: <http://goarctic.ru/>. Last accessed 18.01.2021.

²⁵ NOVATEK will build its terminal in the Bechevinskaya Bay in Kamchatka. [Electronic resource]: <http://Tass.ru/экономика/5211461/>. Last accessed 23.03.2021.

marine terminal was chosen for transportation of raw materials. Oil shipment under this option has been carried out from 2016 year-round by Gazpromneft²⁶.

In the future, the Arctic ports of YNAA (primarily Sabetta) are considered as multifunctional ones, focused not only on transshipment of fuel and energy resources, but also on export transportation of products from enterprises of the Urals and Western Siberia.

The implementation of the listed large infrastructure projects of the federal level requires corresponding development of the regional transport and logistics infrastructure and solution of transport problems in YNAA. Analysis of the current state of the transport system of YNAA showed the inconsistency of the existing level of development of the transport infrastructure with the needs of the economy and the population of the area, and its inconsistency with the strategic goals of the country in the AZRF. To solve the problem of its development, considering comprehensive assessment of the current state of the transport infrastructure of YNAA, the State program of YNAA on Development of the transport infrastructure for 2014–2024» (as amended on February 11, 2021) was developed¹⁸.

CONCLUSIONS

Solving the problem of modernisation and development of a full-fledged regional transport infrastructure through implementation of regional and federal infrastructure projects will provide:

1) Development of a single interconnected transport space on the territory of the area with a significant reduction of infrastructural constraints for development of the area's economy.

2) Achievement of the required level of population mobility and transport accessibility of municipalities for all categories of population.

3) Integration of the mainland and port infrastructure into a single logistics system through implementation of federal infrastructure projects carried out in parallel with measures to maintain, modernise, and develop the existing regional transport infrastructure.

²⁶ Website of the company «Gazpromneft-Yamal». [Electronic resource]: <http://Yamal.gazprom-neft.ru/>. Last accessed 23.03.2021.



4) Integration of the transport complex of YNAA as part of the transport complex of Russia into the world transport system.

Thus, development of an effective regional transport and logistics system, integrated into the corresponding federal system, taking into account the geostrategic features and geo-economic potential of the area, will ensure removal of infrastructural constraints for development of the national economy and the economy of the area.

REFERENCES

- Babkina, T. V., Buravova, A. A., Trembach, K. I. Specificity and relationship of economic security and transport complex of the country [Spetsifika i vzaimosvyaz ekonomicheskoi bezopasnosti i transportnogo kompleksa strany]. *Naukovedenie*, 2015, Vol. 7, Iss. 5. [Electronic resource]: <http://naukovedenie.ru/PDF/182EVN515.pdf>. Last accessed 18.01.2021.
- Nikulina, N. L., Averina, L. M. Interregional interaction under the aspect of development of transport and logistics infrastructure of the Ural-Siberian macro-region [Mezhregionalnoe vzaimodeistvie v aspekte razvitiya transportno-logisticheskoi infrastruktury Uralo-Sibirskogo makroregiona]. In: Theory and methodology for modelling the spatial development of territories. Yekaterinburg, Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2020, 270 p.
- Bowersox, D. J., Closs, D. J. Logistical Management: The Integrated Supply Chain Process [In Russian. Russian title: *Logistika. Integrirovannaya tsep postavok*]. Transl. from English by Baryshnikova, N. N., Pinsker, B. S. Moscow, Olymp-Business publ., 2010, 635 p.
- Ghiani, G., Laporte, G., Musmanno, R. Introduction to Logistics Systems Planning and Control. John Wiley and Sons, Ltd., 2004. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/236110407_Introduction_to_logistics_systems_planning_and_control. Last accessed 18.01.2021.
- Maksimova, S. Yu. Formation and development of the transport infrastructure of the region. Abstract of Ph.D. (Economics) thesis [Formirovanie i razvitie transportnoi infrastruktury regiona. Avtoref. dis... kand. ekon. nauk]. Stavropol, 2010, 21 p.
- Mirotin, L. B., Gudkov, V. A., Zyryanov, V. V., Nekrasov, A. G., Balalaev, A. S., Larin, O. N. [et al]. Management of cargo flows in transport and logistics systems [Upravlenie gruzovymi potokami v transportno-logisticheskikh sistemakh]. Ed. by Mirotin, L. B. Moscow, Goryachaya liniya – Telekom publ., 2010, 704 p.
- Prokofieva, T. A. Development of transport and logistics infrastructure in the Asian part of Russia – a strategic direction for implementation of the country's transit potential in the system of Eurasian ITCs [Razvitie transportno-logisticheskoi infrastruktury v Aziatskoi chasti Rossii – strategicheskoe napravlenie realizatsii tranzitnogo potentsiala strany v sisteme eurasiskikh MTK]. [Electronic resource]: <http://www.publications.hse.ru>. Last accessed 21.01.2020.
- Raimbekov, Zh. S., Syzdykbaeva, B. U., Zhumataeva, B. A., Tastanbekova, K. N. Economic content and composition of the logistics infrastructure [Ekonomicheskoe sodержanie i sostav logisticheskoi infrastruktury]. *Bulletin of KazEU*, 2014, Iss. 2 (98), pp. 114–127. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/contents.asp?id=45797950>. Last accessed 14.12.2019.
- Shpak, A. V., Biev, A. A., Serova, V. A. Transport security of the AZRF as a factor of the country's economic security [Transportnaya obespechennost AZRF kak faktor ekonomicheskoi bezopasnosti strany]. In: Modern organisational and economic trends and development problems of the European North: proceedings of international scientific and practical research conference (Murmansk, April 23–24, 2015). Murmansk, Publishing house of MSTU, 2015, pp. 139–143.
- Bolshakov, Ya. A. Russian strategy in relation to spatial development of the Arctic [Rossiiskaya strategiya v otnoshenii prostranstvennogo razvitiya Arktiki]. In: Modern organisational and economic trends and problems of development of the European North: proceedings of the international scientific and practical conference (Murmansk, April 23–24, 2015). In 2 parts. Part 2. Sc. ed. of Kibitkin, A. I. Murmansk, Publishing house of MSTU, 2015, 314 p., pp. 22–24.
- Komleva, N. A. Arctic strategies of the Arctic states. General and special [Arkticheskie strategii priarkticheskikh gosudarstv. Obshee i osobennoe]. *Arktika i Sever*, 2011, Iss. 2, pp. 1–7. [Electronic resource]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_17093418_77853982.pdf. Last accessed 14.12.2019.
- Voronina, E. P. Transport development of the Arctic territories: strategic objectives and risk analysis [Transportnoe osvoenie arkticheskikh territorii: strategicheskie zadachi i analiz riskov]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2017, Iss. 3 (27), pp. 61–68.
- Orlov, D. Development of the Arctic zone of Russia and the main challenges for its development [Razvitie Arkticheskoi zony Rossii i osnovnie vyzovy dlya ee osvoeniya]. REGNUM, 25.04.2018. [Electronic resource]: <https://regnum.ru/news/economy/2407690.html>. Last accessed 18.01.2021.
- Selin, V. S. Scenario forecast of development of sea transportation in the Arctic waters [Stsenarniy prognoz razvitiya morskikh perevozok v arkticheskikh akvatoriyakh]. In: Modern organisational and economic trends and problems of development of the European North: proceedings of the international scientific and practical conference (Murmansk, April 23–24, 2015). In 2 parts. Part 2. Sc. ed. of Kibitkin, A. I. Murmansk, Publishing house of MSTU, pp. 113–116.
- Katkova, S. V. YNAA. System transport issues [YaNAO. Voprosy sistemnogo transportnogo obespecheniya]. [Electronic resource]: <http://morproekt.ru/attachments/article/63/8-9n.pdf>. Last accessed 18.01.2021.

Information about the authors:

Nikulina, Natalia L., Ph.D. (Economics), Senior Researcher at the Laboratory for Modelling Spatial Development of Territories of the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia, nikulinan@mail.ru.

Averina, Lidia M., Junior Researcher at the Laboratory for Modelling Spatial Development of Territories of the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia, laverina@mail.ru.

Article received 28.01.2021, approved 15.05.2021, accepted 12.06.2021.



A Formalised Approach to Optimal Adoption of a Complex of Technical Means



Tatiana A. POPOVA



Alexander P. POPOV

Tatiana A. Popova¹, Alexander P. Popov²

¹ MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia.

² Russian University of Transport, Moscow, Russia.

✉ ² pap60@bk.ru.

ABSTRACT

The research relates to the field of automation of technological preparation of production in transport equipment manufacturing sector and proposes the concept of choosing the optimal design model for a complex of technical means within a control system in automated production. The factors characterising the dynamics of the processes have been studied, and the corresponding mathematical models have been drawn up, considering the cost characteristics and the economic feasibility of adopting integrated technical means.

The main objective of this work is to propose consideration of all parameters that have weight, including the dynamics of technical and economic processes. It is shown that cost characteristics are direct indicators of economic efficiency of the implemented complex of technical means.

Methodically, this work was carried out based on economic and mathematical analysis of adoption of a complex of technical means at a transport equipment manufacturing enterprise considering approaches previously suggested by researchers.

Thus, for the most accurate determination of the final cost of a certain product option, it is necessary to consider all factors of design decisions. Based on these data, a model of cost characteristics of products is built, analysing which it is possible to select the optimal product design, optimal assemblies and units

with specific components and specific quality indicators. This allows obtaining the optimal technological version of the design solution during manufacturing.

A method of searching for an optimal production cycle when introducing an automated production system is proposed. It is proposed to consider the losses associated with temporary freezing of funds, including the need to perform a convolution of optimisation criteria. To formalise the process of making optimal decisions, it is also proposed to harmonise the products and market needs. Besides, the search methodology should include the search for an optimal group of employees responsible for implementation of specific and narrowly focused tasks, which makes it possible to improve the quality indicators of automated production with an adopted complex of technical means (CTM).

To minimise the time spent on entire commissioning of a product from the development stage to receipt of the finished product, it is required to speed up the development work. This can be done by increasing production capacity, as well as by reducing the time of partial cycles of the structure's existence.

Even though the model is becoming excessively redundant, we suppose that introduction of additional elements is necessary to consider all the nuances that help choosing the best solution regarding optimisation issues, which will allow determining of the full economic efficiency of the complex.

Keywords: transport equipment manufacturing, complex of technical means (CTM), cost characteristics, optimisation of technological processes.

For citation: Popova, T. A., Popov, A. P. A Formalised Approach to Optimal Adoption of a Complex of Technical Means. *World of Transport and Transportation*, 2021, Vol. 19, Iss. 3 (94), pp. 187–194. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-5>.

**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

Any transport equipment manufacturing, automotive or aircraft-building enterprise faces an acute problem of reducing the design and technological cycle of production. In the age of information technology, development of production automation is one of the highest priority areas. However, many engineering tasks are still notable for their complexity and it is not possible to quickly automate the entire technological process, therefore, a phased formalisation of the order of production routes is still relevant.

The *objective* of the study is to develop technique to select the optimal technical means to be integrated into the production complex to obtain optimal technical and economic indicators considering variability of technical and economic processes depending on the influencing external and internal production factors.

The increase in the efficiency [1] of production is a criterion of adoption of a new technology or of a scientific and technological solution both from a technical and from an economic point of view.

Numerous studies, including international research, aimed at finding optimal solutions to ensure manufacturability suggest conclusion that adoption of innovations, traditionally considered in the literature, have many subclasses. Careful strategic planning is required [2] to integrate new technological approaches into existing production processes, or to develop new proposals for fundamentally new products. The implementation of the complex of technical means (CTM) allows for systematisation in project management issues, as well as for quality control after adoption of certain innovative proposals.

The *method* used to identify the optimal full production cycle is reduced to the analysis of the dynamics of expenses and income.

Several works, e. g., the project conducted by Hungarian researchers [3], and focused on the study of effective use of information and communication technologies, show that the use of integrated technical solutions based on decision support systems helps enterprises to cope with the problems of uncertainty and complexity, to increase the effectiveness.

The hypothesis that intensification of work can lead to a reduction in the full production cycle of a product was confirmed by the mathematical model presented by the authors in [4]. It was

shown that this approach can lead to a decrease in effectiveness of contributions.

RESULTS

General Approaches

The developed method for assessing cost characteristics contains several assumptions, while an important point cannot be ignored: the product quality vector is determined through the multidimensional technical component of the production process. Naturally, adoption of fundamentally new solutions will create an opportunity to expand the ideas on finding the optimal production cycle.

Based on the proposed method, it is required to determine those assemblies or groups of parts that are advisable to be replaced, or, on the contrary, to allow the continuity of existing technical solutions. To accurately determine the cost characteristics, it is necessary to consider, in addition to the above, dynamic parameters.

The factors of design solutions do not have a clearly dependent relationship, while considering the interaction of the elements of functions at each production level, those factors will make it possible to develop an optimal system.

When developing fundamentally new CTM, it is necessary to start from the basic version, by introducing innovations into weak links and not affecting the existing and well-functioning production facilities. The issue of unification in this matter is quite relevant. Modelling has shown that introduction of fundamentally new and original design solutions leads to impossibility of standardising either the technological process or CTMs themselves. Renouncing proven solutions often leads to economic loss due to the cost of producing new units and system elements, to loss of time and unjustified cost overruns, which, in turn, can lead to a delay in production and organisational difficulties caused by a new approach to production cycle.

Information technology in world practices is an integral step to improve quality of production of parts while reducing the cost and terms of adoption of technology [5].

When implementing promising technological processes at an enterprise, the economic effect is achieved primarily by saving production resources and, by increasing sales, thus reducing the cost of the product.

Costs have always been the main criterion that determines economic feasibility of

introducing a CTM. Analysis of the price characteristics of products and their units includes design, production and operating costs applied to a specific maintenance unit. Meanwhile, the work [4] shows that it is impossible to reliably estimate the quality indicators of CTM based on data on the cost of a single unit.

The dynamics of production processes is determined by such factors as obsolescence of any product and control systems; speed of production and commissioning of new CTM. These factors determine the effectiveness of the developed products, while decisions ignoring those factors might turn to be far from rational ones.

To consider the positive technological progress in implementation of CTM, multiple criteria should be introduced that are responsible for economic indicators, while the proposed cost properties can be used as a synonym for economic efficiency.

The Suggested Techniques and Solutions

The desire to shorten the full cycle of a product as much as possible is logical and is a natural consequence of emergence of innovations in design and technological solutions. As a result, when starting to develop a new version of CTM, it is necessary to determine duration of the common cycle of the innovation system's existence. This parameter can be determined only based on the output technical features of the finished product.

At the initial design stage, the experience gained should be limited to indicative estimates based on statistical data.

There is a one-size-fits-all proposal that could be the key to solving many problems referring to design obsolescence issues. To minimise the time from development to series production start, it is necessary to reduce lead times and to focus on capacity growth.

The work [4] showed that «acceleration of initial stages of the cycle can be achieved mainly by forcing contributions by moving funds and increasing their amount, as well as through a more rational labour management».

The expansion of production capacity leads to a reduction in the product life cycle, due to shortening of the production stage, although in some cases this may lead to a violation of the optimal supply/demand ratio. Thus, it becomes possible to introduce various series of CTM into production, considering

assessment of the economic effect from adoption of such innovative approaches and the optimal time for development and implementation of production.

Analysing some graphs of income and expenses (Pic. 1 [4]), we can mention the economic feasibility of making decisions on implementation of CTM.

Curve $R(\tau)$ is a graph of total expenses for all costs associated with operation of both the already used CTMs and those being adopted [6; 7]. The generalised fund $Fd(\tau)$ is determined through the integral of the economic effect from beginning of the full cycle τ_0 to beginning of the operation τ for the implemented CTM:

$$Fd(\tau) = \int_{\tau_0}^{\tau} R(\tau) d\tau.$$

The economic effect (return) $EE(\tau)$ is determined by the income received from operation of a specific series of CTM. Return on assets $\Psi(\tau)$, in turn, is an integral value:

$$\Psi(\tau) = \int_{\tau_0}^{\tau} EE(\tau) d\tau.$$

Profit $f(\tau)$ is calculated as the difference between the economic effects before and after introduction of CTM:

$$f(\tau) = EE(\tau) - R(\tau).$$

The economic effect, that is, the excess of income over expenses, appears only after a certain moment of time τ , when the equality $EE(\tau) = R(\tau)$ is reached, which is clearly shown in the graph (Pic. 1). Until this moment, despite availability of economic resources, there are frozen funds. The moment of time τ_n is the starting point for the growth of self-sufficiency, when a part of frozen funds overlaps, exceeding the utility function in terms of the cost function.

At some time τ_s , the integral $F(\tau) = \int f(\tau) d\tau$, passing through the zero mark, takes a positive value. The time τ_s is called the «self-sufficiency time». After that, the period begins when the «net» profit from implementation of CTM increases. The profit margin is defined as:

$$\tilde{F}(\tau) = \int_{\tau_s}^{\tau} [EE(\tau) - R(\tau)] d\tau.$$

However, such a definition of economic efficiency of deposits does not correctly indicate the full volume of economic processes, since it does not consider the significant losses associated with temporary freezing of funds. Next, the criteria are rolled up and multicriteria optimisation is performed. This approach is described in more detail in [8].



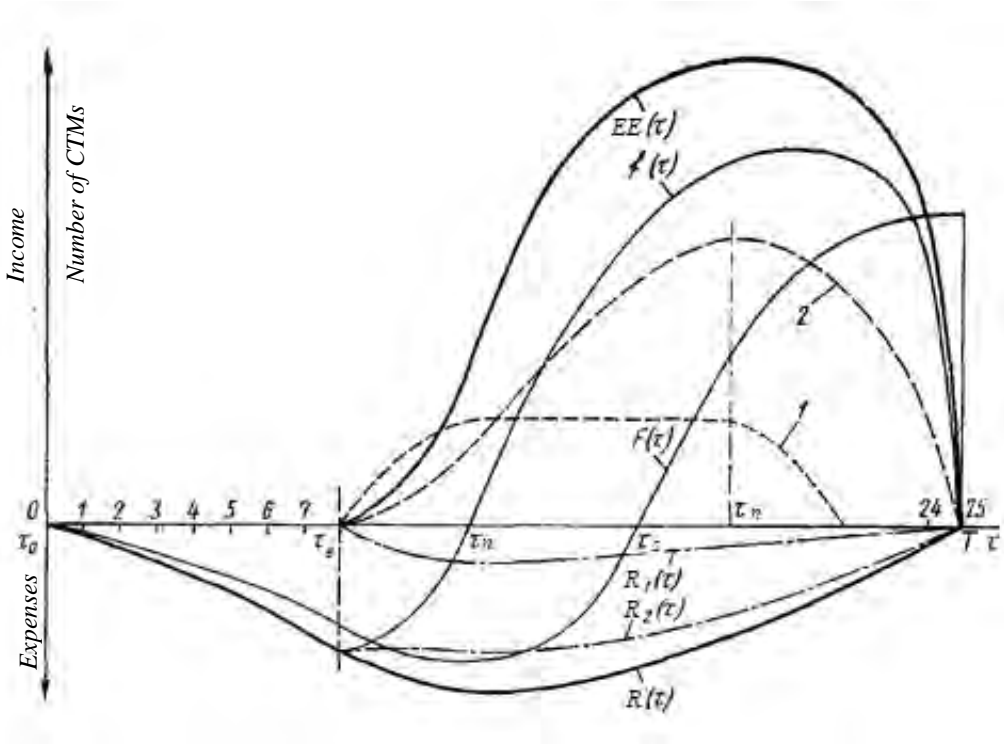


Fig. 1. Dynamics of income and expenses. $R(\tau)$ – total expenses, including for operation – $R_1(\tau)$; for production – $R_2(\tau)$; 1 – release of CTMs; 2 – number of operated CTMs [4].

Considering time delays due to movement of funds, funds are created that allow getting profit, expressed in K percent. If the costs incurred at the initial stage (as a rule, during the first year) were frozen for the entire period of the use of CTM series, then the calculation is carried out for n years since the retention does not bring economic profit:

$$\Delta Fd = (1+K)^n \int_0^{\tau_0} R(\tau) d\tau - \int_0^{\tau_0} R(\tau) d\tau =$$

$$= [(1+K)^n - 1] \int_0^{\tau_0} R(\tau) d\tau = [(1+K)^n - 1] Fd_1,$$

where $Fd_1 = \int_0^{\tau_0} R(\tau) d\tau$ represents the frozen contribution during the first year.

As well as for the case when freezing or a significant reduction in funds occurs during the i -th year, the money fund changes downward by an amount defined as:

$$\Delta Fd_i = [(1+K)^{n-i} - 1] Fd_i.$$

Accordingly, if all the funds spent on development and adoption of a CTM series were frozen for n years (the service life of the structure), then the total losses, considering

losses incurred due to exclusion of these funds from circulation, can be determined as Fd :

$$Fd = \sum_{i=1}^n [(1+K)^{n-i} - 1] Fd_i + Fd_n = \sum_{i=1}^n Fd_i (1+K)^{n-i},$$

since $\sum_{i=1}^n Fd_i = Fd$ – total amount of cash costs,

considering various unaccounted parameters, the final value will be determined as:

$$Fd = \sum_{i=1}^n (1+K)^{n-i} \int_{i-1}^i R(\tau) d\tau.$$

To determine the overall economic effect, it is appropriate to use a continuous form, and not a separate expression for Fd . For this purpose, we divide the calendar period (one year) into small discrete time sections $\Delta\tau$, satisfying the condition $n_1 \cdot \Delta\tau = T$, and compose the limit:

$$\lim_{n_1 \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^{n_1} (1+K)^{\frac{T}{n_1}(n_1-i)} R(\tau) \Delta\tau =$$

$$\lim_{n_1 \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^{\frac{T}{n_1}(n_1)} (1+K)^{\frac{T}{n_1}(n_1-i)} R(\tau) \Delta\tau = \int_0^T (1+K)^{(T-\tau)} R(\tau) d\tau.$$

Generally, we can write:

$$Fd = \int_0^T (1+K)^{(T-\tau)} R(\tau) d\tau.$$



To solve the optimisation problem of effectively increasing turnover of funds for organising production, let us consider in detail the structure of the function $R(\tau)$.

According to the complete scheme of the production cycle, this function $R(\tau)$ can be represented through a number of components, each of which is also determined by several indicators. For example, cost component of the «preparatory phase of development of a new series» is determined by four cost items (18 components in total).

It should be noted that some indicators partially overlap each other, and the function $R(\tau)$ can be rewritten as:

$$R(\tau) = \sum_{i=1}^n r_i(\tau),$$

where $r_i(\tau)$ are current expenses for the i -th specific cycle.

The costs are described by a finite function defined only in a limited region $\tau_i - \tau_j$; $i, j \in \{1, \dots, n\}$, which takes zero values in other intervals. Thus, the function $R(\tau)$ itself is determined in the $0-T$ range and tends to zero outside this interval.

It should be noted that integration of electronic computing systems allows opening new horizons in development of any industry.

The performance and manufacture of many modern products (cars, washing machines,

robots, or machine tools) and their production depend on the ability of the industry to take advantage of advances in technology and incorporate them during the design phase into both products and manufacturing processes.

Such production systems, in which CTM is already integrated, as well as the systems integrating an interdisciplinary approach to engineering design, from a technical and managerial point of view, become significantly more competitive in relation to their predecessors [9].

Identification of each component influencing costs can be carried out based on statistical data.

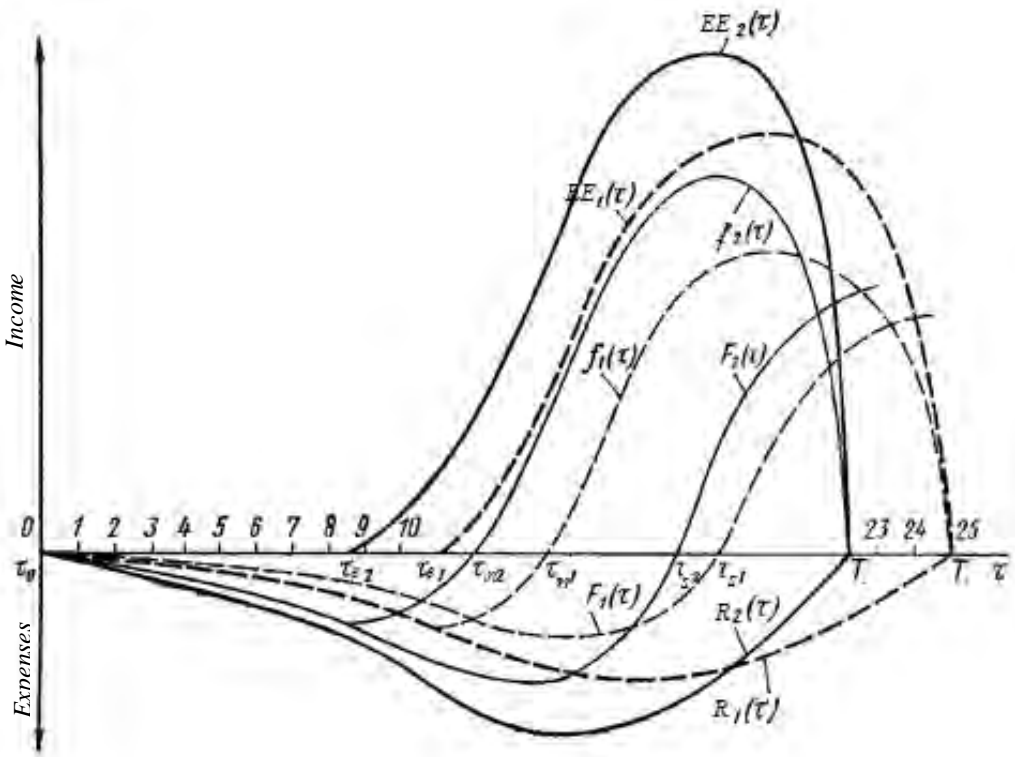
The return of funds, which is possible after adoption of a new CTM system, starts from the moment of time τ_c . Obviously, returnable money cannot immediately get into circulation and can only be considered as a possible additional profit. Income is determined for the function $f(\tau)$ during the time interval τ_c in percentage K until a certain moment T .

Profit can be determined through the integration of each component:

$$\Phi(\tau) = \int_{\tau_c}^T (1+K)^{(T-\tau)} f(\tau) d\tau.$$

The dependences $\Phi(\tau)$, as well as $\varphi(\tau)$, are not new in the description of costs and relate to the traditional formulas of enterprise economics.





Pic. 2. Influence of intensity of financing on efficiency of CTM; indices «1» correspond to the initial variant, indices «2» correspond to the competing one [4].

Generalised functions $f(\tau)$, like the function $R(\tau)$, consist of a number of components, which are the most important, however, the most difficult to be formalised. The true profit is determined by the function $f(\tau)$ on the interval $\tau_e - T$ and, like the function $R(\tau)$, in this area can be represented as:

$$F(\tau) = \phi - Fd = \int_{\tau_e}^T (1+K)^{(T-\tau)} f(\tau) - \int_{\tau_0=0}^T (1+K)^{(T-\tau)} R(\tau) d\tau.$$

In relation to expenses, we get:

$$g = \frac{\phi - Fd}{Fd} = \frac{\int_{\tau_e}^T (1+K)^{(T-\tau)} f(\tau) - \int_0^T (1+K)^{(T-\tau)} R(\tau) d\tau}{\int_0^T (1+K)^{(T-\tau)} R(\tau) d\tau}.$$

Getting an opportunity to calculate the absolute value and the relative value of «net profit», one can proceed to determining the optimal system for intensifying deposits when organising production using the new CTM series. «The decision on effectiveness of an innovative project is made considering the values of all constituent applications» [10].

For convenience of considering several options for adoption of CTM (Pic. 2), we will present the lifetime of the structure under the

initial financing option as T_1 and the total funding of the base option as Fd_1 . Then, using the integral approach, you can write:

$$Fd_1 = \int_{\tau_0}^{T_1} (1+K)^{(T_1-\tau)} R_1(\tau) d\tau,$$

where $P_1(\tau)$ – costs in the original version;

ϕ_1 – total costs.

$$\phi_1 = \int_{\tau_0}^{T_1} (1+K)^{(T_1-\tau)} f_1(\tau) d\tau.$$

For the updated version, we rewrite the expressions as:

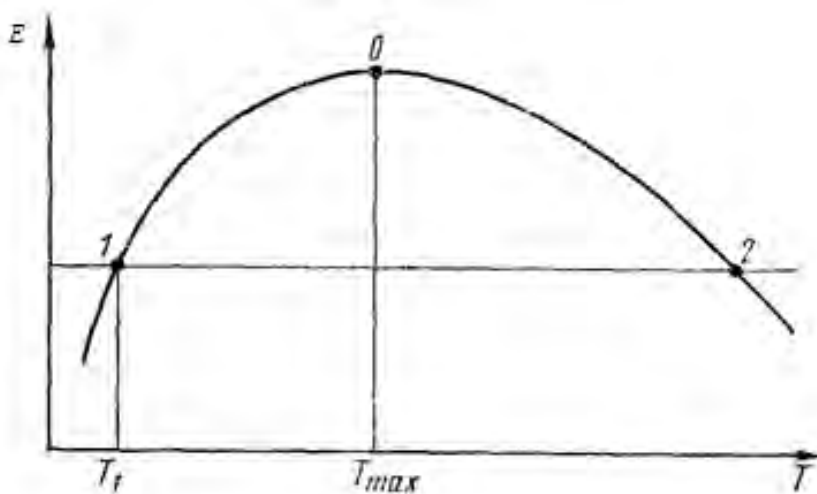
$$Fd_2 = \int_{\tau_0}^{T_2} (1+K)^{(T_2-\tau)} R_2(\tau) d\tau$$

and

$$\phi_2 = \int_{\tau_0}^{T_2} (1+K)^{(T_2-\tau)} f_2(\tau) d\tau,$$

where $R_2(\tau)$ – production costs for the modernised production process (forced version).

The real profit in the first case is defined as $F_1 = \phi_1 - Fd_1$, for the forced option the equality $F_2 = \phi_2 - Fd_2$ is true. To analyse the effectiveness of the changes made, let's analyse the ratio of profit indicators:



Pic. 3. Efficiency as a function of intensity of financing of operations [4].

$$\bar{E}(\tau) = \frac{F_2}{F_1} = \frac{\int_{\tau_2}^{\tau_1} (1+K)^{(\tau_1-\tau)} f_2(\tau) d\tau - \int_0^{\tau_2} (1+K)^{(\tau_1-\tau)} R_2(\tau) d\tau}{\int_{\tau_1}^{\tau_2} (1+K)^{(\tau_1-\tau)} f_1(\tau) d\tau - \int_0^{\tau_1} (1+K)^{(\tau_1-\tau)} R_1(\tau) d\tau}$$

The work [4] has previously offered detailed analysis of statistical data showing that «the function $\bar{E}(T)$ has the form shown in Pic. 3, and can be analytically represented as a ratio of approximating polynomials. The left branch of this curve (section 1–0) means that with excessive intensification of operations, leading to a reduction in the full cycle, the efficiency of contributions decreases. This is explained by the following: for each technological process there are minimum terms of operations, which at a given level of technology development cannot be practically reduced».

The graph (Pic. 3) shows that the more time is spent with less funding, the more orderliness is in the algorithm of the tasks performed. In case of a decrease in deposits, the adoption of CTM significantly slows down and leads to additional costs associated with retention of funds and depreciation of products due to obsolescence of products and technological solutions.

All factors that have a direct or indirect impact on the system are considered in the functions $R_1(\tau)$, $R_2(\tau)$, $f_1(\tau)$, $f_2(\tau)$, for two cases: with the previously used CTM and for the forced version. Functions (Pic. 2) are defined by polynomials with the same degree for each corresponding pair of factors, but with different coefficients for the full-time cycle.

As stated in [4]: «The integrals $Fd_2(T_2)$ and $\varphi_2(T_2)$ have a form similar to the form of the functions $Fd_1(T_1)$ and $\varphi_1(T_1)$ ».

Many researchers were engaged in optimisation of production processes, e.g., G. K. Goransky, N. M. Kapustin [11; 12]. The stages of adoption of CTM are most fully studied in works by S. P. Mitrofanov. It should be noted that the technological process shown in his work [13] is a model that includes ready-made technological solutions necessary for effective application of modern information technologies to production automation procedures in general and to procedures for preparing technological production. Same problems are also presented in [14].

Similar issues were also described in works [2; 15; 16], which noted the theoretical relationship between strategic adaptation, innovation management practices and business results.

Several domestic works also show the economic feasibility of applying innovations and adopting CTM in production [17; 18].

The modelling is based on the need for initial stages of automation and unification of CTM parameters, however, in real conditions, the approach to each specific request should not be formalised, but aimed at achieving the best result, which is also reflected in [19].

BRIEF CONCLUSIONS

The proposed analysis refers to economic efficiency of boosting the full cycle of the technological process of automated production.



The substantiated choice of the optimal set of technical means is shown based on a diagram of the full production cycle and integrated approach considering such components as the costs of the «preparatory stage of development of a new series», the economic usefulness of CTM and the obsolescence rates.

REFERENCES

1. Makarenko, S. I. Technical and economic analysis of feasibility of introducing new technological solutions [*Tekhniko-ekonomicheskii analiz tselesoobraznosti vnedreniya novykh tekhnologicheskikh reshenii*]. *Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti*, 2016, Iss. 1, pp. 278–287. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehniko-ekonomicheskii-analiz-tselesoobraznosti-vnedreniya-novykh-tehnologicheskikh-resheniy/pdf>. Last accessed 17.08.2020.
2. Sánchez, A., Lago, A., Ferràs, X., Ribera, J. Innovation Management Practices, Strategic Adaptation, and Business Results: Evidence from the Electronics Industry. *Journal of Technology Management & Innovation*, 2011, Vol. 6, Iss. 2. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27242011000200002>.
3. Viharos, Zs. J., Monostori, L., Csongrádi, Z. An important aspect of a digital factory: Monitoring of complex production systems; WESIC 2003, 4th Workshop on European Scientific and Industrial Collaboration; Miskolc, Hungary, May 28–30, 2003, pp. 363–370. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/250068677_an_important_aspect_of_a_digital_factory_monitoring_of_complex_production_systems. Last accessed 17.08.2020.
4. Popov, A. P. Increasing the efficiency of designing a control system for technological processes based on optimisation of a complex of technical means. Ph.D. (Eng) thesis [*Povyshenie effektivnosti proektirovaniya sitemy upravleniya tekhnologicheskimi protsessami na osnove optimizatsii kompleksa tekhnicheskikh sredstv. Dis... kand. tekhn. nauk*]. MSTU Stankin, 2010, 165 p. [Electronic resource]: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_004600152/. Last accessed 17.08.2020.
5. Abdrashitov, R. T., Abramov, K. N. Improving the efficiency of automated systems for technological preparation of production [*Povyshenie effektivnosti avtomatizirovannykh sistem tekhnologicheskoi podgotovki proizvodstva*]. *Vestnik OSU*, 2000, Iss. 1 (4), pp. 65–70. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-effektivnosti-avtomatizirovannykh-sistem-tehnologicheskoy-podgotovki-proizvodstva/pdf>. Last accessed 17.08.2020.
6. Popov, A. P., Popova, T. A. Continuity in the Design of a Complex of Technical Means. *World of Transport and Transportation*, 2014, Vol. 12, Iss. 5, pp. 124–129. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/149>. Last accessed 17.08.2020.
7. Lee, R. Optimal estimates, determination of characteristics and control [*Optimalnie otsenki, opredelenie kharakteristik i upravlenie*]. Moscow, Nauka publ., 1966, 176 p.
8. Poezhalova, S. N., Selivanov, S. G., Borodkina, O. A., Kuznetsova, K. S. Recurrent neural networks and methods of optimisation of design technological processes in ASTPP machine-building production [*Rekurrentnie neironnie seti i metody optimizatsii proektnykh tekhnologicheskikh protsessov v ASTPP mashinostroitel'nogo proizvodstva*]. *Vestnik USATU*, 2011, Vol. 15, Iss. 5 (45), pp. 36–46. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/rekurrentnye-neyronnye-seti-i-metody-optimizatsii-proektnykh-tehnologicheskikh-protsessov-v-astpp-mashinostroitel'nogo-proizvodstva/pdf>. Last accessed 17.08.2020.
9. Bradley, D. A. *Mechatronics – Electronics in Products and Processes*. Chapman & Hall, 1993, 376 p.
10. Shalaev, I. A., Kharitonova, A. A. Indicators for assessing the effectiveness of financing innovative projects [*Pokazateli otsenki effektivnosti finansirovaniya innovatsionnykh proektov*]. *Vector of Economics*, 2017, Iss. 11 (17), pp. 41–49. [Electronic resource]: http://www.vectoreconomy.ru/images/publications/2017/11/innovationmanagement/Shalaev_Kharitonova.pdf. Last accessed 17.08.2020.
11. Goransky, G. K., Bendereva, E. I. Technological design in integrated automated systems for production preparation [*Tekhnologicheskoe proektirovanie v kompleksnykh avtomatizirovannykh sistemakh podgotovki proizvodstva*], 1981, 456 p.
12. Kapustin, N. M., Pavlov, V. V. [et al]. Dialogue design of technological processes [*Dialogovoe proektirovanie tekhnologicheskikh protsessov*]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1981, 287 p.
13. Mitrofanov, S. P. Scientific organisation of serial production [*Nauchnaya organizatsiya seriinogo proizvodstva*]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1970, 212 p.
14. Svirskiy, D. N., Klimentiev, A. L. Automation of technological decision making in compact production of machine-building products [*Avtomatizatsiya prinyatiya tekhnologicheskikh reshenii v kompaktnom proizvodstve mashinostroitelnoi produktsii*]. *Bulletin of Polotsk State University. Series B*, 2010, Iss. 2, pp. 54–62. [Electronic resource]: https://elib.psu.by/bitstream/123456789/1765/1/Svirskij_2010-2-p54.pdf. Last accessed 17.08.2020.
15. Copeland, T., Koller, T., Murrin, J. Valuation: Measuring and Managing the Values of Companies. *Journal of Mathematical Finance*, August 18, 2014, Vol. 4, Iss. 4. [Electronic resource]: <https://www.pdfdrive.com/valuation-measuring-and-managing-the-value-of-companies-3rd-edition-e158622059.html>. Last accessed 17.08.2020.
16. Jayani, Rajapathirana R. P.; Yan, Hui. Relationship between innovation capability, innovation type, and firm performance. *Journal of Innovation & Knowledge*, April 2018, Vol. 3, Iss. 1, pp. 44–55. DOI: 10.1016/j.jik.2017.06.002.
17. Shalaev, I. A., Mishunina, I. S., Pokoptseva, S. A. Modern analysis and methods of assessing financial risks [*Sovremenniy analiz i metody otsenki finansovykh riskov*]. *Ekonomika i sotsium*, 2016, Iss. 12-2 (31), pp. 1677–1683. [Electronic resource]: <https://readera.org/sovremenniy-analiz-i-metody-ocenki-finansovykh-riskov-140117481>. Last accessed 17.08.2020.
18. Kondratiev, A. I. Improving preparation of production of machine parts based on the use of formal estimates of similarity of design solutions [*Sovershenstvovanie podgotovki proizvodstva detalei mashin na osnove primeneniya formalnykh otsenok podobiya proektnykh reshenii*]. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Mechanical Engineering*, 2016, Vol. 16, Iss. 3, pp. 36–43.
19. Glichev, A. V. Economic efficiency of technical systems [*Ekonomicheskaya effektivnost tekhnicheskikh sistem*]. Moscow, Ekonomika publ., 1971, 270 p. ●

Information about the authors:

Popova, Tatiana A., Lecturer at MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia, tatiana241187@gmail.com.
Popov, Alexander P., Ph.D. (Eng), Associate Professor of Russian University of Transport, Moscow, Russia, pap60@bk.ru.

Article received 23.12.2019, approved 19.08.2020, updated 07.11.2020, accepted 11.03.2021.



ADMINISTRATION, MANAGEMENT AND CONTROL



**MODERN TECHNIQUES
TO ASSESS PASSENGER
MOBILITY 196**

Wi-Fi analytics: evaluation of prospects, feasibility study, field experiments.

**URBAN PUBLIC
TRANSPORT 209**

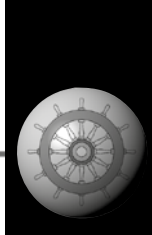
Summary of general approaches and assessment of promising nature of adoption of system study of passenger flows: the case of transport system of Khujand.



**OPTIMISATION
OF FREIGHTAGE 216**

Transportation problems and techniques to solve them: computation, optimal planning, distribution of tasks per vehicles.





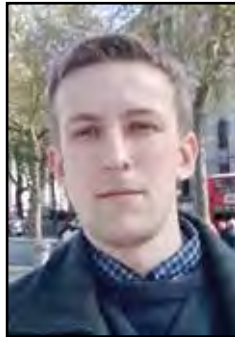
ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-6>World of Transport and Transportation,
2021, Vol. 19. Iss. 3 (94), pp. 196–208

Assessment of Applicability of Wi-Fi Analytics in Studies of Urban Public Transport Passenger Flow (Moscow Case Study)



Nikolai Yu. ALEKSEEV



Pavel V. ZYUZIN

Nikolai Yu. Alekseev¹, Pavel V. Zyuzin²

^{1,2} National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia.

✉ ¹ alekseev-trn@mail.ru.

ABSTRACT

The advantages and disadvantages of existing tools for calculating passenger flow are shown using the example of the city of Moscow.

The objective of the research was to assess possibilities of using Wi-Fi data as a tool for analysing passenger flow. The authors used two types of Wi-Fi scanners and a tool they developed to analyse the collected data. The primary results of the study demonstrate the possibility of practical application of Wi-Fi data to analyse passenger flow.

The described empirical studies, particularly data received from the portable Wi-Fi scanner, have shown that more than 20% of mobile devices in urban public transport and metro are used with Wi-Fi enabled, which is clearly not enough to get results necessary for comprehensive and detailed analysis of passenger flows. Nevertheless, the accumulating data allow to get possibility to forecast general passenger flow.

A portable Wi-Fi scanner does not provide an opportunity to extensively capture a large area of the surveyed territory in real time (stops of urban public transport, locations where passengers enter the metro, etc.). Stationary Wi-Fi scanners could increase the amount of data and, accordingly, significantly adjust the results obtained. This enhancement could also be achieved through expansion of adoption of the tool of studying passenger flow to urban railways, i.e., in case of Moscow, to Moscow Central Circle and Moscow Central Diameters, as those routes provide Wi-Fi access at stations and in coaches.

Data collected from Wi-Fi scanners can be an additional tool to other data sources, such as validation, automatic systems of passenger flow monitoring, and data obtained from cellular operators. For this reason, the further research in the field of Wi-Fi analytics along with development of technology in the field of existing data sources of passenger flow monitoring may result in better calculation of passenger flow.

Keywords: transport, urban public transport, metro, passenger flow, data analysis, Wi-Fi analytics.

For citation: 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 (94). pp. 196–208. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-6>.

*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

Correct planning of urban transport infrastructure and organisation of public spaces, transport interchange hubs, routes of urban public transport, car sharing, taxis, and making appropriate decisions require the most accurate and relevant source data regardless of future use of various methods of data analysis. This issue is especially important in relation to megacities, given the scale of these planning and organisation tasks.

The territory of Moscow agglomeration englobes a huge number of routes that use different types of urban public transport, such as bus, trolleybus, tram, electric bus, and metro, including Moscow Central Circle (hereinafter referred to as MCC) and Moscow Central Diameters (hereinafter referred to as MCD), which are integral part of urban mass transit.

State Unitary Enterprise «Moscow Metro» in 2018 carried more than 2,5 billion passengers¹, State Unitary Enterprise «Mosgortrans» transported more than 1,28 billion passengers². These statistics demonstrate a high load on urban public transport and require daily analysis of passenger traffic, as well as development of an origin-destination trip correspondence matrix.

Conventional tools for primary data collection comprise ticket validators, video sensors of passenger traffic (automatic systems of passenger flow monitoring), video surveillance and others. With advancement of digitalisation, new tools have emerged, such as big data analysis. One of the most promising areas is the use of Wi-Fi technologies. Currently, the topic of using Wi-Fi technologies for analysing passenger flow has received a sharp development.

A large number of articles on Wi-Fi analytics, in most cases, in one way or another, are not related to passenger flows, but to pedestrian flows (for example, in TIH or passenger terminals of airports, their transit zones). To measure and analyse the flow of pedestrians and paths of their movements (origin-destination trips), it is possible to use sensor technologies, such as Wi-Fi scanners, which provide an opportunity to understand not only the volumes

of travelling, but to reveal the locations where the trip starts and ends (the latter aspect is associated with a particularly difficult task). The authors of the studied works tested various Wi-Fi scanners to determine the maximum possible number of electronic devices, i.e., impersonal (depersonalised) pedestrians [1]. The applicability of technical solutions for study of pedestrian flow in terms of data collection was well shown. Also, some algorithms have been developed for filtering and analysing data collected from electronic devices [2]. Thus, in the research studied, attention was paid to the technical aspect of implementation of monitoring, in particular, to the use of filters to eliminate noise from various electronic devices, while the average walking time of pedestrians in the underpass was estimated [3; 4]. However, this filter does not accurately calculate the number of moving pedestrians. Other researchers have developed a system for analysing pedestrian traffic using Wi-Fi packet sensors [5] and have shown how a Wi-Fi detection system can be implemented and what are some of the difficulties in designing and managing such a system, both on small and large scales [6]. Researchers [7] presented the use of MAC address data as an effective tool for tracking and analysing the spatial and temporal dynamics of a pedestrian in terms of behaviour when using a shared space. The performance of the Bluetooth-Wi-Fi system has been developed and evaluated in solving problems of detecting anonymous MAC addresses of devices over short distances in fixed locations [8]. Possibilities of revealing pedestrian flows were also studied by analysing schemes for detecting surrounding Bluetooth devices [9].

Also, several studies have pointed to problems associated with methods of filtering Wi-Fi data [10; 11]. Several studies have been inconclusive due to the lack of quantitative measurements. Several studies have compared methods of observing passenger traffic, including such parameters as the number of passengers on board, boarding and disembarking at each stop, based on filtering results [12–14]. The apparent discrepancies between surveillance data and Wi-Fi filtering results indicate significant errors caused by strong threshold filtering methods. Therefore, an accurate and efficient way of separating passenger and non-passenger MAC address data is highly needed.

¹ Data of the State Unitary Enterprise «Moscow Metro». [Electronic resource]: <http://www.metro-msk.ru/stat/2018/>. Last accessed 23.03.2021.

² Data of the State Unitary Enterprise «Mosgortrans» [Moscow city transport]. [Electronic resource]: <https://mosgortrans.ru/>. Last accessed 23.03.2021.



A co-author of this research N. Alekseev in collaboration with William H. K. Lam, Professor of Hong Kong Polytechnic University, wrote an article [15], describing the research on counting pedestrians within the territory of Hong Kong Polytechnic University. According to the study, approximately 32 to 40 % of active Wi-Fi devices of the actual number of pedestrians passed were detected using Wi-Fi scanners. The article concluded that to predict pedestrian flows, it is necessary to get more data from Wi-Fi scanners for different periods of time (summer/winter/autumn/spring, working day/weekend).

The *objective* of the work is to analyse the application of Wi-Fi data to clarify the matrix of origin-destination trips between stopping points of urban public transport. The *task* of the work is to create and test an algorithm for calculating passenger flow in public transport using a new method of data collection, namely a Wi-Fi scanner.

RESULTS

Types of Data Sources on Passenger Flow in the City of Moscow

Currently, Automatic system of fare control (ASKP) of Mosgortrans [Moscow City Transport] and the fare control system at State Unitary Enterprise «Metro» are in operation in Moscow metropolitan area. These systems include control over passenger travelling with single transport payment cards (for example, such as Troika travel card) allowing access to the services of all the urban public transport facilities and the metro. Also, some people use social cards delivered to pensioners, students, and schoolchildren. To pay for travel, people make their cards read by validators installed in the compartments of city public transport vehicles and at the entrance to Moscow Metro stations. Each validator and card have their own unique identification numbers, which makes it possible to calculate the number of passengers using public transport on a daily basis and to analyse their travelling.

Given the global use of single transport payment and social cards, the data obtained can be used to calculate passenger flow. The data makes it possible to determine the number of passengers entering the urban public transport, metro and, in the future, to analyse and forecast passenger flows in Moscow metropolitan area. The disadvantage of calculating passenger traffic using data from validators is the lack of data on exits

from public transport and the metro, either on the locations of passenger transfers (this problem applies specifically to the metro). It is possible to predict the passenger's exit point based on a new point of entry into urban public transport and metro, but there is a possibility of an error, due to the fact that the prospective passenger can leave metro at one station and enter it at another one. For example, using validation to determine trips of couriers using metro during their journey is a daunting task. Moreover, following the refusal to the system of the «forced» single entrance to the urban public transport vehicles [the need to pass only through the turnstile that validates the ticket or a transport payment card], many passengers do not pay for the fare, i. e., do not use a single transport payment card or social card, and this can lead to even greater errors in calculating passenger flow. JSC Tsentralnaya PPK [Central commuter railway] has a similar system and, accordingly, similar problems.

Automatic system of passenger flow monitoring (ASMPP) is another source of data. This system is equipped with video sensors located above the doorways of public transport vehicles. Video sensors count the number of passengers entering and leaving a vehicle. The disadvantage of this system is that the system does not identify the passenger and does not give an understanding of who and when entered public transport and where they left. Moreover, not all urban public transport vehicles are equipped with automated control systems. ASMPP is installed on separate vehicles and separate routes on irregular basis to determine the approximate passenger traffic. Also, there is a problem of synchronisation of ASMPP data with GLONASS/GPS tracks of urban public transport.

Another source of data on passenger travels is data received from mobile operators. There is a «Geosocial Analytics» (GSA) project based on the data of mobile operators, the purpose of which is to collect data on the population, on the dynamics of its travels, on the load on the transport infrastructure by analysing the load on the cellular network of mobile operators. With the help of this project, the locations of concentration of the population and movement of cellular subscribers are being studied. The scatter of the data is 500 m by 500 m, which is a rather a large range when considering small population travels.

Table 1 shows the advantages and disadvantages of existing data sources for calculating passenger flow.

Table 1

**Advantages and disadvantages of existing data sources for calculating passenger flow
(compiled by the authors)**

| Data source | Advantages | Disadvantages |
|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Data of State Unitary Enterprise Moscow Metro (validation) | Reliable information about the passengers entering the metro | Lack of information about the passengers leaving and their transfers within the metro network |
| ASKP Mosgortrans data (validation) | Reliable information about the entry of passengers into urban public transport | No data about the exit of passengers |
| ASMPP Mosgortrans data | Passenger entry / exit data without reference to the passenger | Lack of georeferencing of data with ASMPP, small data sample |
| Data of JSC Tsentralnaya PPK (validation) | Data on the entry and exit of railway passengers | Insufficient number of stations equipped with a fare e-payment system |
| Data of GLONASS / GPS tracks of land urban passenger transport | Information about the location of urban public transport vehicles at any time | Lack of georeferencing of data with ASMPP |
| Data of cellular operators | Clarification of information on the volume of movement of people | Territorial reference with a radius of 500 meters |

Considering the sources of data on passenger flows described above, the authors draw attention to the fact that there is no data source that would allow determining the exit point from urban public transport (from a bus, tram, trolleybus, electric bus) and from the metro, including MCD, MCC. It is for this reason that the authors considered the possibility of using a new type of data source: data obtained from Wi-Fi scanners.

Wi-Fi Analytics as a Data Source. Types of Wi-Fi Scanners

It is now claimed that more than 80 % of people have used at least one mobile Wi-Fi device in their daily life [16]. Thus, Wi-Fi based passenger flow estimation has great potential to become a more reliable method as compared to existing tools.

There is a single Wi-Fi network called MT FREE on the territory of Moscow metropolitan area, used to increase attractiveness of urban public transport. This Wi-Fi network comprises Wi-Fi routers installed in all the vehicles, at public transport stops and in metro coaches. This Wi-Fi network is free for all residents and guests of Moscow metropolitan area, but it has advertising content. To disable advertising content, the intended user is prompted to make a monthly payment. The only condition for using this free Wi-Fi network is registration with your MT FREE account.

Having in mind an extensive Wi-Fi network in Moscow metropolitan area, and relevant expertise developed for other purposes and locations, the authors supposed a possibility of using Wi-Fi data to determine the entry and exit points of prospective passengers.

As part of the study, the authors carried out research on calculating passenger flow using two Wi-Fi scanners on public transport, in particular, at public stops, in buses and metro coaches.

For the study, two Wi-Fi scanners with the function of detecting electronic devices were used. Each Wi-Fi scanner has its own detection area, which depends on the power of the Wi-Fi antenna, measured in decibels. An electronic device is identified by its unique MAC address. The MAC address is a unique identifier provided by the manufacturer for each electronic device and has a six-byte number (LL: LL: LL: XX: XX: XX), in which the first three bytes identify the manufacturer of the electronic device (LL: LL: LL).

The Wi-Fi scanner has a Received Signal Strength Indicator (RSSI). The area where the electronic device is located can be determined by the signal strength. Since, presumably, an electronic device with Wi-Fi enabled is used by a passenger of urban public transport, we can determine movement tracks (origin-destination trip matrix) of prospective passengers, namely the places where they start and end their travel.

The first Wi-Fi scanner was received for testing from a distributor in the Russian Federation. Manufacturer was Libelium (Spain), model was Meshlium Xtreme. This device is large in size and is primarily intended for static use.

The principle of operation of a Wi-Fi scanner is to search for active Wi-Fi devices within its range. The Wi-Fi scanner scans active Wi-Fi devices (smartphones, laptops, tablets, printers, MFPs, etc.) within its range and in response receives MAC addresses of the scanned devices





Pic. 1. Image of Wi-Fi scanner No. 1: Meshlium Xtreme.

online. Together with MAC addresses, the Wi-Fi scanner receives the following data:

1. ID_frame – line number.
2. Timestamp – time of the received stamp.
3. Date – Date.
4. MAC – MAC address of the scanned device.
5. SSID – «name» of the device (32-digit alphanumeric code).
6. RSSI - Received signal strength indicator.
7. Vendor – Manufacturer (seller) of the detected device.
8. Type – type of the device (A-C).
9. AP – device (router) to which the detected device is linked.
10. MeshliumID – Meshlium Xtreme Wi-Fi scanner number.

Below is an example of raw data from the Meshlium Xtreme Wi-Fi scanner (Table 2).

This Wi-Fi scanner has a built-in memory that allows to record the received data and further, to upload data to a local server.

Though this Wi-Fi scanner has a Bluetooth scanner, the Bluetooth scanner was not used in this work.

The second Wi-Fi scanner was purchased from an organisation engaged in Wi-Fi analytics in the Russian Federation, namely, analysing the behaviour of potential buyers in shopping centres. Basically, this organisation uses a Wi-Fi scanner, which is permanently installed in shopping centres.

To solve the problem posed by the researchers, a portable Wi-Fi scanner was created. This



Pic. 2. Image of Wi-Fi-scanner No. 2: TP-LINK assembled.

portable Wi-Fi scanner consists of the following elements:

1. TP-LINK TL-MR3020 v3.2 – Wi-Fi router reconfigured to a Wi-Fi scanner.
2. Powerbank mi 20000 – portable power supply for Wi-Fi scanner and GSM modem.
3. Huawei E8231 – GSM-modem.
4. Non-exclusive license to use the «Shopster.Analytics» software product.

Research Description

The passengers were counted in two ways:

- Full-scale (visual calculation of the number of passengers on the bus at the points of entry/exit into/from the bus and entry/exit of passengers at specific stops with reference to time).
- Scanning Wi-Fi devices at stops and inside public transport with time reference using a portable Wi-Fi scanner.

The received initial data were transferred to the created Framework based on Excel. Framework has the following degrees of filtering:

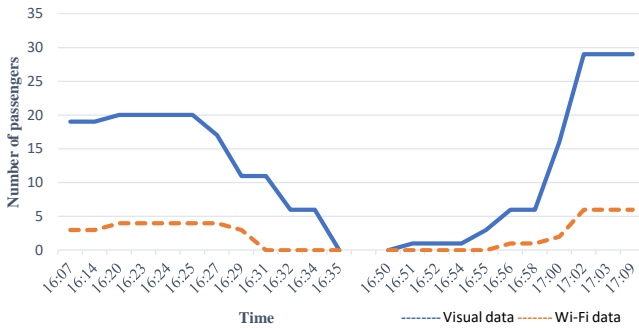
1. Removing «noise». Noise means all Wi-Fi devices detected within the range of a Wi-Fi scanner, that are routers, etc. That is, it is understood that routers and other similar devices cannot be considered as an intended passenger.

2. Removing MAC addresses that have one or two stamps. This Wi-Fi device makes it possible to scan the area in real time. In practice, to detect movement of prospective passengers, at least 5 detections are required at different periods of time.

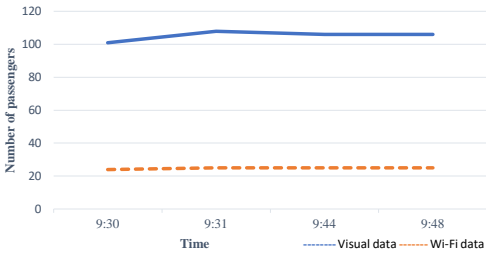
Table 2

An example of raw data obtained from Meshlium Xtreme Wi-Fi scanner during the study

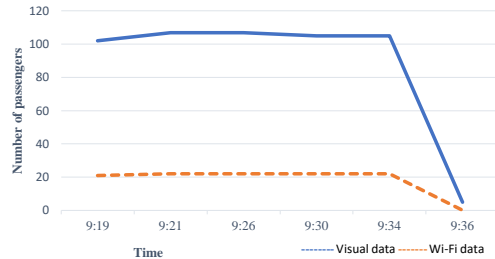
| ID_frame | Timestamp | MAC | SSID | RSSI | Vendor | Type | AP | MeshliumID |
|----------|------------------|-------------------|--------------|------|----------------------------------|------|----|----------------|
| 1 | 18.10.2019 16:53 | 44:1C:A8:20:61:63 | HP-Print-63 | -74 | Hon Hai Precision Ind. Co., Ltd. | A | | 17060143649518 |
| 2 | 18.10.2019 16:53 | 40:16:7E:C3:B4:68 | | -79 | ASUSTek COMPUTER INC. | A | | 17060143649518 |
| 3 | 18.10.2019 16:53 | 78:8A:20:71:0E:78 | | -78 | Ubiquiti Networks Inc. | A | | 17060143649518 |
| 4 | 18.10.2019 16:53 | 8A:8A:20:71:0D:7D | SDP-secure | -71 | Unknown | A | | 17060143649518 |
| 5 | 18.10.2019 16:53 | 76:4D:28:0D:38:91 | | -60 | Unknown | A | | 17060143649518 |
| 6 | 18.10.2019 16:53 | 76:4D:28:0D:38:8F | | -60 | Unknown | A | | 17060143649518 |
| 7 | 18.10.2019 16:53 | 74:4D:28:0D:38:8F | | -61 | Routerboard.com | A | | 17060143649518 |
| 8 | 18.10.2019 16:53 | 76:4D:28:0D:38:90 | ENFORTA | -60 | Unknown | A | | 17060143649518 |
| 9 | 18.10.2019 16:53 | E0:E6:2E:55:17:BE | Mac Book Pro | -59 | TCT mobile Ltd. | A | | 17060143649518 |



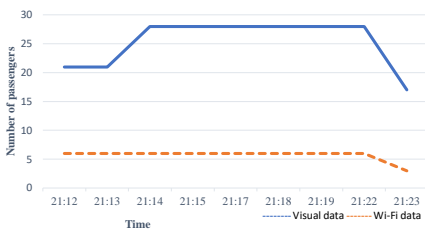
Pic. 3. Data from visual inspection and Wi-Fi scanner on August 25, 2019 (bus route No. 906-express).



Pic. 4. Data from visual inspection and Wi-Fi scanner on November 18, 2019 (bus route No. 802).



Pic. 6. Data from visual inspection and Wi-Fi scanner on November 29, 2019 (bus route No. 737).



Pic. 5. Data from visual inspection and Wi-Fi scanner on November 28, 2019 (bus route No. 249).

Further, the analysis of the obtained data is carried out. The studies were conducted on the following dates:

- August 25, 2019 (bus route No. 906-express).
- November 18, 2019 (bus route No. 802 + Section of Serpukhovsko-Timiryazevskaya metro line).
- November 28, 2019 (bus route No. 249).
- November 29, 2019 (bus route No. 737).
- March 20, 2020 (bus routes No. 249, 858).





Table 3

**Data from visual inspection and Wi-Fi scanner on August 25, 2019
(bus route No. 906-express)**

| Day of the week | Date | Time | Stop | Number of passengers | Passengers who entered the bus | Passengers who left the bus | Wi-Fi-data: Number of unique MAC addresses (at least 5 repetitions) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------|---------------------------|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Route No. 906 (B.Butovskaya st.–Zakharino) | | | | | | | |
| Sunday | 25.08.2019 | 16:07 | Annino metro station | 19 | 10 | 0 | 3 |
| Sunday | 25.08.2019 | 16:14 | B.Butovskaya st. | 19 | 0 | 0 | 3 |
| Sunday | 25.08.2019 | 16:20 | Turn to Militseiskiy pos. | 20 | 1 | 0 | 4 |
| Sunday | 25.08.2019 | 16:23 | Marsh. Savitskogo st. | 20 | 0 | 0 | 4 |
| Sunday | 25.08.2019 | 16:24 | Ice palace | 20 | 0 | 0 | 4 |
| Sunday | 25.08.2019 | 16:25 | Marsh. Savitskogo st., 22 | 20 | 0 | 0 | 4 |
| Sunday | 25.08.2019 | 16:27 | Center of state services | 17 | 0 | 3 | 4 |
| Sunday | 25.08.2019 | 16:29 | Molodtsovskiy pr. | 11 | 0 | 6 | 3 |
| Sunday | 25.08.2019 | 16:31 | Brusilova st., 31 | 11 | 0 | 0 | 0 |
| Sunday | 25.08.2019 | 16:32 | Brusilova st., 21 | 6 | 0 | 5 | 0 |
| Sunday | 25.08.2019 | 16:34 | Brusilova st. | 6 | 0 | 0 | 0 |
| Sunday | 25.08.2019 | 16:35 | Zakharino (final) | 0 | 0 | 6 | 0 |
| Result: On average, more than 20 % of prospective passengers have Wi-Fi enabled on their mobile device. | | | | | | | |
| Route No. 906 (Zakharino–B. Butovskaya st.) | | | | | | | |
| Sunday | 25.08.2019 | 16:50 | Zakharino (start) | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Sunday | 25.08.2019 | 16:51 | Brusilova st. | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Sunday | 25.08.2019 | 16:52 | Brusilova st., 21 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Sunday | 25.08.2019 | 16:54 | Brusilova st., 31 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Sunday | 25.08.2019 | 16:55 | Molodtsovskiy pr. | 3 | 2 | 0 | 0 |
| Sunday | 25.08.2019 | 16:56 | Centre of state services | 6 | 3 | 0 | 1 |
| Sunday | 25.08.2019 | 16:58 | Marsh. Savitskogo st., 22 | 6 | 0 | 0 | 1 |
| Sunday | 25.08.2019 | 17:00 | Ice palace | 16 | 10 | 0 | 2 |
| Sunday | 25.08.2019 | 17:02 | Marsh. Savitskogo st. | 29 | 13 | 0 | 6 |
| Sunday | 25.08.2019 | 17:03 | Turn to Militseiskiy pos. | 29 | 0 | 0 | 6 |
| Sunday | 25.08.2019 | 17:09 | B.Butovskaya st. | 29 | 0 | 0 | 6 |

Result: On average, more than 20 % of prospective passengers have Wi-Fi enabled on their mobile device.

Table 4

Data from visual inspection and Wi-Fi scanner on November 18, 2019 (bus route No. 802)

| Day of the week | Date | Time | Stop | Number of passengers | Passengers who entered the bus | Passengers who left the bus | Wi-Fi-data: Number of unique MAC addresses (at least 5 repetitions) |
|-----------------|------------|------|----------------------------------------|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Route No. 802 | | | | | | | |
| Monday | 18.11.2019 | 9:30 | Bolshaya Butovskaya | 101 | 15 | 0 | 24 |
| Monday | 18.11.2019 | 9:31 | Varshavskoe shosse, 190 | 108 | 7 | 0 | 25 |
| Monday | 18.11.2019 | 9:44 | 7-i B mikroraion Severnogo Butova | 106 | 0 | 2 | 25 |
| Monday | 18.11.2019 | 9:48 | Starokachalovskaya, 1 | 106 | 0 | 0 | 25 |
| Monday | 18.11.2019 | 9:49 | Bulvar Dmitriya Donskogo metro station | 5 | 0 | 101 | 0 |

Result: On average, over 23 % of prospective passengers have Wi-Fi enabled on their mobile device.

Table 5

Data from visual inspection and Wi-Fi scanner on November 28, 2019 (bus route No. 249)

| Day of the week | Date | Time | Stop | Number of passengers | Passengers who entered the bus | Passengers who left the bus | Wi-Fi-data: Number of unique MAC addresses (at least 5 repetitions) |
|-----------------|------------|-------|-----------------------------------------|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Route No. 249 | | | | | | | |
| Thursday | 28.11.2019 | 21:12 | Ulitsa Akademika Yangelya metro station | 21 | 21 | 0 | 6 |
| Thursday | 28.11.2019 | 21:13 | Kirpichnie Vyemki | 21 | 0 | 0 | 6 |
| Thursday | 28.11.2019 | 21:14 | Annino metro station | 28 | 7 | 0 | 6 |
| Thursday | 28.11.2019 | 21:15 | Annino metro station (South lobby) | 28 | 0 | 0 | 6 |
| Thursday | 28.11.2019 | 21:17 | Varshavskoe shosse (MKAD) | 28 | 0 | 0 | 6 |
| Thursday | 28.11.2019 | 21:18 | Severnoe Butovo (Varshavskoe shosse) | 28 | 0 | 0 | 6 |
| Thursday | 28.11.2019 | 21:19 | Botanicheskiy sad | 28 | 0 | 0 | 6 |
| Thursday | 28.11.2019 | 21:22 | Varshavskoe shosse, 190 | 28 | 0 | 0 | 6 |
| Thursday | 28.11.2019 | 21:23 | Bolshaya Butovskaya | 17 | 0 | 11 | 3 |

Result: On average, more than 21 % of prospective passengers have Wi-Fi enabled on their mobile device.

The data obtained from urban public transport (bus) are shown in Tables 3–7 and shown in Pic. 3–8, and from the metro – in Table 8 and Pic. 9.

The data in the above tables show that, on average, more than 20 % of prospective passengers have Wi-Fi enabled on their mobile devices,

which makes it possible to determine the origin-destination trip matrix for a certain number of «passengers» (detected Wi-Fi devices) both in urban public transport and in the metro.

Pic. 1 shows a graph of the origin-destination trip matrix obtained as a result of analysing the



Table 6
Data from visual inspection and Wi-Fi scanner on November 29, 2019 (bus route No. 737)

| Day of the week | Date | Time | Stop | Number of passengers | Passengers who entered the bus | Passengers who left the bus | Wi-Fi-data: Number of unique MAC addresses (at least 5 repetitions) |
|-----------------|------------|------|----------------------------------------|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Route No. 737 | | | | | | | |
| Friday | 29.11.2019 | 9:19 | Bolshaya Butovskaya | 102 | 15 | 0 | 21 |
| Friday | 29.11.2019 | 9:21 | Varshavskoe shosse, 190 | 107 | 5 | 0 | 22 |
| Friday | 29.11.2019 | 9:26 | 7-i B mikroraion Severnogo Butova | 107 | 0 | 0 | 22 |
| Friday | 29.11.2019 | 9:30 | Grina, 20 | 105 | 0 | 2 | 22 |
| Friday | 29.11.2019 | 9:34 | Grina | 105 | 0 | 0 | 22 |
| Friday | 29.11.2019 | 9:36 | Bulvar Dmitriya Donskogo metro station | 5 | 0 | 0 | 0 |

Result: On average, more than 20 % of prospective passengers have Wi-Fi enabled on their mobile device.

Table 7
Data from visual inspection and Wi-Fi scanner on March 20, 2020 (bus routes No. 249, 858)

| Day of the week | Date | Time | Stop | Number of passengers | Passengers who entered the bus | Passengers who left the bus | Wi-Fi-data: Number of unique MAC addresses (at least 5 repetitions) |
|-----------------|------------|-------|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Route No. 249 | | | | | | | |
| Friday | 20.03.2020 | 12:19 | Bolshaya Butovskaya | 6 | 3 | 0 | 0 |
| Friday | 20.03.2020 | 12:20 | School (Bolshaya Butovskaya st.) | 6 | 0 | 0 | 0 |
| Friday | 20.03.2020 | 12:22 | Station MCD Butovo | 9 | 3 | 0 | 3 |
| Friday | 20.03.2020 | 12:24 | 2-ya Melitopolskaya | 9 | 0 | 0 | 3 |
| Friday | 20.03.2020 | 12:25 | Policlinic (2-ya Melitopolskaya st.) | 11 | 2 | 0 | 3 |
| Friday | 20.03.2020 | 12:26 | Novonikolskoe | 8 | 0 | 3 | 3 |
| Friday | 20.03.2020 | 12:27 | Varshavskoe shosse, 261 | 7 | 3 | 4 | 3 |
| Friday | 20.03.2020 | 12:28 | Scherbinka (Simferopolskoe shosse) | 7 | 0 | 0 | 3 |
| Friday | 20.03.2020 | 12:30 | Turn to Militseiskiy pos. | 7 | 0 | 0 | 3 |
| Route No. 858 | | | | | | | |
| Friday | 20.03.2020 | 12:19 | Turn to Militseiskiy pos. | 25 | 1 | 0 | 6 |
| Friday | 20.03.2020 | 12:20 | 1-ya Melitopolskaya | 26 | 1 | 0 | 6 |

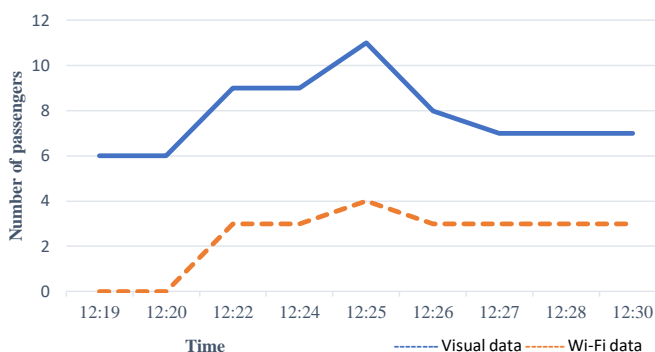
Result: On average, over 23 % of prospective passengers have Wi-Fi enabled on their mobile device.

Table 8

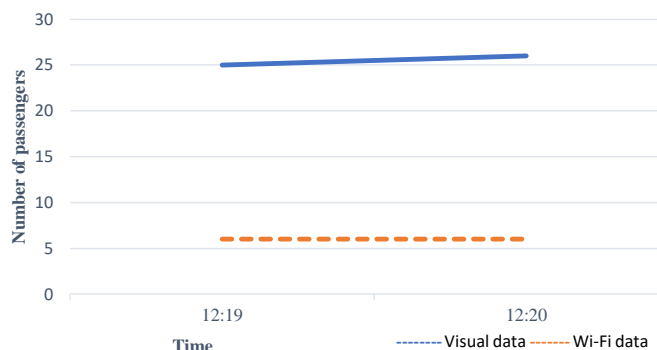
Data from visual inspection and Wi-Fi scanner on November 18, 2019 (Section of Serpukhovsko–Timiryazevskaya metro line)

| Day of the week | Date | Time | Metro station | Number of passengers (approximate) | Wi-Fi-data: Number of unique MAC addresses (at least 5 repetitions) | % of detected Wi-Fi devices of the total number of passengers |
|-----------------------------------------|------------|-------|---------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Serpukhovsko–Timiryazevskaya metro line | | | | | | |
| Monday | 18.11.2019 | 9:53 | Bulvar Dmitriya Donskogo | 200 | 29 | 14,5 |
| Monday | 18.11.2019 | 9:56 | Annino | 200 | 25 | 12,5 |
| Monday | 18.11.2019 | 9:58 | Ulitsa Akademika Yangelya | 200 | 23 | 11,5 |
| Monday | 18.11.2019 | 10:00 | Prazhsakaya | 200 | 30 | 15 |
| Monday | 18.11.2019 | 10:03 | Yuzhnaya | 200 | 34 | 17 |
| Monday | 18.11.2019 | 10:05 | Chertanovskaya | 200 | 34 | 17 |
| Monday | 18.11.2019 | 10:08 | Sevastopolskaya | 200 | 39 | 19,5 |
| Monday | 18.11.2019 | 10:09 | Nakhimovskiy prospect | 200 | 45 | 22,5 |
| Monday | 18.11.2019 | 10:12 | Nagornaya | 200 | 49 | 24,5 |
| Monday | 18.11.2019 | 10:15 | Nagatinskaya | 200 | 58 | 29 |
| Monday | 18.11.2019 | 10:18 | Tulskaya | 200 | 56 | 28 |
| Monday | 18.11.2019 | 10:21 | Serpukhovskaya | 200 | 47 | 23,5 |

Result: On average, more than 20 % of prospective passengers have Wi-Fi enabled on their mobile device.

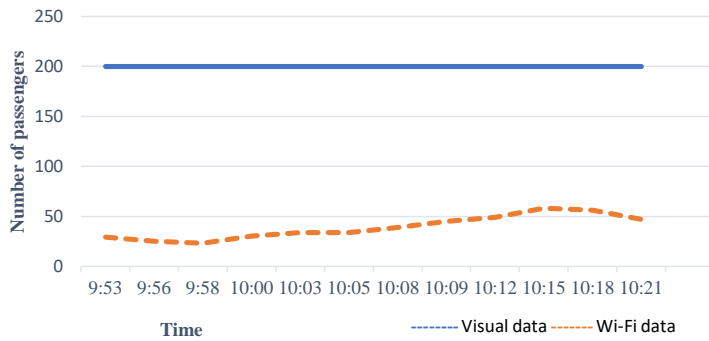


Pic. 7. Data from visual inspection and Wi-Fi scanner on March 20, 2020 (bus routes No. 249).

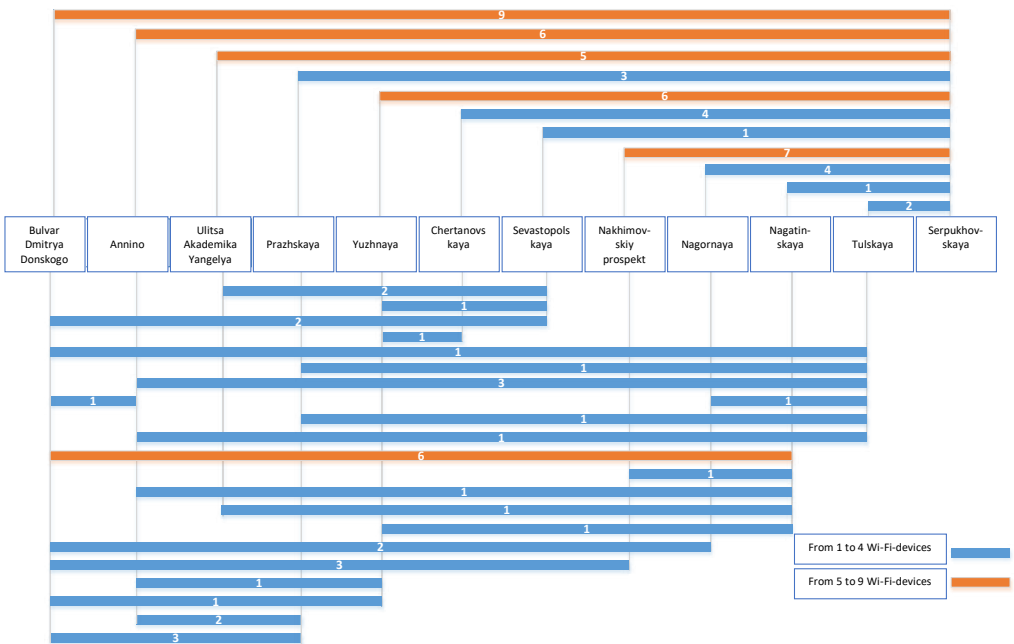


Pic. 8. Data from visual inspection and Wi-Fi scanner on March 20, 2020 (bus routes No. 858).





Pic. 9. Data from a visual inspection and a Wi-Fi scanner on November 18, 2019 (section of Serpukhovsko–Timiryazevskaya metro line).



Pic. 10. The origin-destination trip matrix of Wi-Fi devices («prospective» passengers) between stations Bulvar Dmitriya Donskogo and Serpukhovskaya (18.11.2019, from 9:53 to 10:21).

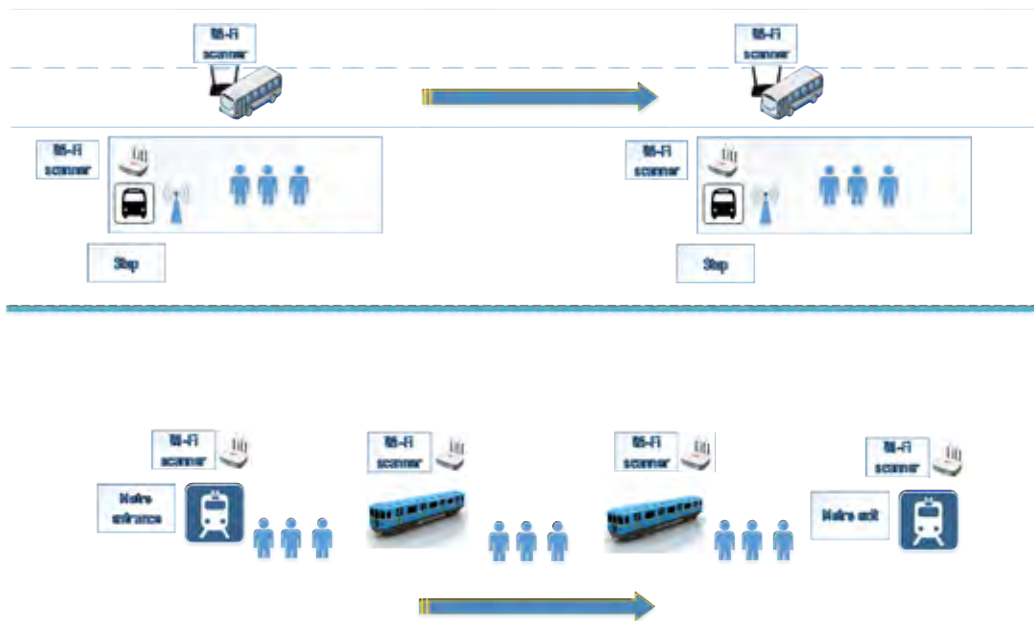
data received from a Wi-Fi scanner in a metro coach. These results were obtained exclusively from a «portable» Wi-Fi scanner.

Comparing the visual data (an overview of the number of passengers in the coach) and Wi-Fi data, as a result of the study, it was revealed that, on average, more than 20 % of the passengers present in the coach travel with Wi-Fi enabled on their mobile device.

Another feature of the Wi-Fi scanner is that a mobile device does not need to connect to the MT FREE network to receive data, it is enough to have Wi-Fi enabled on the mobile device.

According to the primary analysis of the study results, it might be concluded that the data may be insufficient. For this reason, the researchers suggest that to improve the results obtained, it is necessary to use the installation scheme for Wi-Fi scanners, shown in Pic. 11.

In ideal conditions, it is necessary to install 1 Wi-Fi scanner in the bus, 1 Wi-Fi scanner at a public transport stop, 1 Wi-Fi scanner at the metro entrance, 1 Wi-Fi scanner in a metro coach, 1 Wi-Fi scanner at the exit from the metro. The suggested placement of devices will significantly improve the result of the study of passenger flow.



Pic. 11. Block diagram of placement of Wi-Fi scanners.

Also, to exclude the full-scale field method, it is necessary to use data from the ASMPP and navigation terminals installed in the urban public transport, which will determine date and time of arrival of a vehicle at the urban public transport stop and the actual number of passengers entering and leaving the vehicle.

As a result, we will receive data about date, time and MAC address of the device and data from the navigation terminal. By processing the received data, we will be able to determine at what particular moment the device (MAC address) and at which particular stop entered and exited. This will allow a more detailed consideration of the analysis of passenger flow.

We also argue that all the data obtained was used exclusively in the framework of research activities, without reference to specific passengers. The MAC addresses of devices are not personal data. The MAC addresses of the devices are technical data. All received data from Wi-Fi scanners were used exclusively to determine the entry and exit points of specific MAC addresses at public stops. All data are anonymous. The anonymous nature is associated with the use of MAC addresses as identifiers. MAC addresses are not associated with any particular user's account or mobile phone, not even with any particular vehicle. Besides, the mode of «active» search for a Wi-Fi net-

work on a mobile device is the choice of each specific prospective passenger.

CONCLUSIONS

The results obtained demonstrate the prospects for development of Wi-Fi technology. An increasing number of prospective passengers will use urban public transport, switching from private cars to public transport in Moscow and Moscow region. This fact is considered by adoption of new tools aimed at increasing attractiveness of urban public transport, such as adaptive traffic light control, i.e., priority to public transport. And, accordingly, it can be assumed that there will be much more passengers using urban public transport and the metro. Accordingly, an increasing number of passengers will be connected to free Wi-Fi networks. The authors are observing an increasing number of passengers consuming content on mobile devices from the Internet in their daily trips on public transport using mobile Internet (GPRS) or Wi-Fi networks.

Now, from the data received from the portable Wi-Fi scanner, it is possible to make a preliminary conclusion that more than 20 % of mobile devices in urban public transport and metro are used with Wi-Fi turned on, which is not enough for clear assessment of passenger flow. Therefore, there is a possibility of forecasting passenger flow using the accumulating data.



Researchers believe that a portable Wi-Fi scanner does not provide an opportunity to extensively capture a large area of the surveyed territory in real time (stops of urban public transport, locations where passengers enter the metro, etc.). Stationary Wi-Fi scanners could increase the amount of data and, accordingly, significantly adjust the results obtained.

Also, the researchers suggest that besides studying passenger flow in urban public transport, it is required to conduct research at stations and in the coaches of MCC and MCD, which also have Wi-Fi networks.

Based on the results obtained, the researchers conclude that to obtain a complete picture of passenger flow, data from Wi-Fi scanners can complement other data sources, such as validation, ASMPP and data from cellular operators. For this reason, the researchers believe that further research in the field of Wi-Fi analytics, combined with development of technology of existing data sources for monitoring passenger traffic, may lead to better results in calculating passenger flow.

REFERENCES

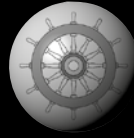
1. Abedi, N., Bhaskar, A., Chung, E., Miska, M. Assessment of Antenna Characteristic Effects on Pedestrian and Cyclists Travel-Time Estimation based on Bluetooth and Wi-Fi-MAC Addresses. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2015, Iss. 60, pp. 124–141. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.08.010>.
2. Kurkcu, A., Ozbay, K. Estimating Pedestrian Densities, Wait Times, and Flows with Wi-Fi and Bluetooth Sensors. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2017, Vol. 2644. DOI: 10.3141/2644-09.
3. Li, Z., Lam, W. H. K., Wepulanon, P., Qin, Z. Estimating Pedestrian Walking Time on Campus Based on Wi-Fi-Detection Data. Proceedings of the 22nd International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies, Hong Kong, 9–11 December 2017, pp. 233–240. ISBN (Electronic) 9789881581464.
4. Wepulanon, P., Lam, W. H. K., Sumalee, A. Pedestrian Facility Usage Monitoring Using Multiple Sources of Data. Proceedings of the 22nd International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies, Hong Kong, 9–11 December 2017, pp. 117–124. ISBN (Electronic) 9789881581464.
5. Fukuzaki, Y., Mochizuki, M., Nishio, N., Murao, K. A Pedestrian Flow Analysis System using Wi-Fi-Packet Sensors to a Real Environment. Conference: The Second Workshop for Human Activity Sensing Corpus and its Application, Seattle, USA, 13–17 September 2014, pp. 721–730. DOI: 10.1145/2638728.2641312.
6. Petre, A. C., Chilipirea, C., Baratchi, M., Dobre, C., Steen, van M. Wi-Fi-tracking of pedestrian behavior. *Smart Sensors Networks Communication Technologies and Intelligent Applications Intelligent Data-Centric Systems*, 2017, pp. 309–337. DOI: 10.1016/B978-0-12-809859-2.00018-8.
7. Abedi, N., Bhaskar, A., Chung, E. Tracking spatio-temporal movement of human in terms of space utilization using Media-Access-Control address data. *Applied Geography*, 2014, Vol. 51, pp. 72–81. DOI: 10.1016/j.apgeog.2014.04.001.
8. Lesani, A., Miranda-Moreno, L. F. Development and Testing of a Real-Time Wi-Fi-Bluetooth System for Pedestrian Network Monitoring and Data Extrapolation. Proceedings of the 95th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, 21 January 2016. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2018, pp. 1–13. DOI: 10.1109/TITS.2018.2854895.
9. Nishide, R., Takada, H. Detecting Pedestrian Flows on a Mobile Ad Hoc Network and Issues with Trends and Feasible Applications. *International Journal on Advances in Networks and Services*, 2013, Vol. 6, Iss. 1-2, pp. 108–117.
10. Dunlap, M., Li, Z., Henrickson, K., Wang, Y. Estimation of Origin and Destination Information from Bluetooth and Wi-Fi-Sensing for Transit. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2016, Vol. 2595, pp. 11–17. DOI: 10.3141/2595-02.
11. Mishalani, R. G., McCord, M. R., Reinhold, T. Use of Mobile Device Wireless Signals to Determine Transit Route-Level Passenger Origin-Destination Flows: Methodology and Empirical Evaluation. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2016, Vol. 2544, pp. 123–130. DOI: 10.3141/2544-14.
12. Hidayat, A., Terabe, S., Yaginuma, H. Wi-Fi Scanner Technologies for Obtaining Travel Data about Circulator Bus Passengers: Case Study in Obuse, Nagano Prefecture, Japan. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2018, Vol. 2672, pp. 036119811877615. DOI: 10.1177/0361198118776153.
13. Ji, Yuxiong; Zhao, Jizhou; Zhang, Zhiming; Du, Yuchuan. Estimating Bus Loads and OD Flows Using Location-Stamped Farebox and Wi-Fi Signal Data. *Journal of Advanced Transportation*, 2017, pp. 1–10. DOI: 10.1155/2017/6374858.
14. 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: 10.1016/j.protcy.2014.11.023.
15. Alekseev, N., Lam, W. H. K. Estimation of Pedestrian Flow Based on Wi-Fi Data and Video Cameras. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 2019, Vol. 13, pp. 93–101. DOI: <https://doi.org/10.11175/easts.13.93>.
16. Global mobile phone internet user penetration 2019. Statistic. [Electronic resource]: <https://www.statista.com/statistics/284202/mobile-phone-internet-user-penetration-worldwide/>. Last accessed 22.03.2021.
17. Solanki, M. J., Umrigar, F. S., Zala, L. B., Amin, A. Application of Moving Car Observer Method for Measuring Travel Time, Delay & Vehicle Flow under Heterogeneous Traffic Condition of C.B.D. Area: Case Study of Surat-Rajmarg (Chowk to Delhi Gate). *International Journal of Current Engineering and Technology*, 2016, pp. 799–803. [Electronic resource]: <http://www.metro.tokyo.jp/ENGLISH/ABOUT/HISTORY>. Last accessed 22.03.2021. ●

Information about the authors:

Alekseev, Nikolai Yu., Master, the National Research University Higher School of Economics (HSE University), Moscow, Russia, alekseev-trn@mail.ru.

Zyuzin, Pavel V., Ph.D. (Geography), Senior Researcher of the National Research University Higher School of Economics (HSE University), Moscow, Russia, zyuzin86@gmail.com.

Article received 09.04.2021, approved 25.06.2021, accepted 05.07.2021.



Analysis of Passenger Flows Served by Bus Routes in the city of Khujand



Rakhmiddin S. SALOMZODA



Muzaffar M. BOBOEV

Rakhmiddin S. Salomzoda¹, Muzaffar M. Boboev²

¹ Tajik Technical University named after academician M. S. Osimi, Dushanbe, Republic of Tajikistan.

² Polytechnic Institute of Tajik Technical University named after academician M. S. Osimi, Khujand, Republic of Tajikistan.

✉ ¹ salomzoda1975@gmail.com.

ABSTRACT

The study considered the role of passenger road transport as one of the most important sectors of the national economy, which influences the entire economy of a country and its regions, as well as the quality of life of the population.

The analysis of the transport system in the city of Khujand, which is mainly dominated by road transport, has been carried out based on the results of the conducted survey on passenger flows on bus routes of the city, particularly, regarding origin-destination matrix, fare collectability.

The conclusions argue in favour of practicability of conducting regular systematic monitoring of passenger flows to optimise suggestions in the field of urban public transport development.

In fundamental terms, main problems of passenger transportation management were identified including lack of a regular timetable on certain routes, non-compliance with the traffic schedule, resulting in an increase in travel time, changes in routing due to the absence of sufficient number of passengers, systematic violations of traffic rules, excessively long stops at the hub stopping points, etc. The suggestions comprise approaches intended to reduce influence of organisational and managerial factors on

efficiency of passenger transportation, on the correct choice of rolling stock, that should be selected considering design features, possibility of serving all segments of the population (categories of passengers), traffic intensity, manoeuvrability, compliance with road conditions, etc. Conclusions were also made regarding techniques to justify the volume of passenger transportation, to identify average distance of passenger's trip, to calculate technical, operational, and quality indicators of operation of public transport, distribution of passengers per routes.

The analysis of the structure of passenger flows since it influences the indicators of the effectiveness of passenger transportation, plays the most significant role in the framework of development of new approaches to the solution of transport issues in the city of Khujand.

Implementation of full-scale monitoring of passenger flows will make it possible to develop appropriate timetables facilitating movement of passenger flows on routes, to select a rational type of rolling stock in terms of capacity, will contribute to time-saving passenger travelling, socialisation of transport tariffs, and improved quality of transportation.

Keywords: service, passenger transportation, public transport, passenger traffic, irregularity of passenger traffic, route, bus, quality of service.

For citation: Salomzoda, R. S., Boboev, M. M. Analysis of Passenger Flows Served by Bus Routes in the city of Khujand. *World of Transport and Transportation*, 2021, Vol. 19, Iss. 3 (94), pp. 209–215. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-7>.

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

Transport is one of the most important sectors of the national economy. In modern conditions, it is impossible to imagine economic development without this industry, which is closely related to others.

Various types of passenger transport, including buses, trolleybuses, trams, and minibuses, etc., are regularly used in urban, suburban, intercity, and international transport networks. Improving quality of road transport services and meeting the demand for transport services are among the main tasks.

The main goals when managing an urban transport system concern, first, minimising transport costs, time saving, increasing safety and comfort when transporting passengers.

The situation in some cities of Tajikistan, including Khujand [1–3], where passengers are transported mainly by buses and minibuses, shows that the level and quality of public transport services are still unsatisfactory and do not meet the needs of the urban population.

This discrepancy is primarily due to the lack of a proper and accurate timetable for public transport, which results in long waiting at stops; non-observance of traffic intervals; illegal parking of vehicles in prohibited places; overcrowding in vehicles; non-observance of the standardised stopping time at intermediate and final stops; violation of traffic safety rules. All these are very serious problems for urban transport and require immediate solutions.

Efficient use of work time, respect of timetables and travel modes, gap size, speed limits when transporting passengers, optimisation of costs while providing minimum reasonable travel time, correct operation of buses, high quality of services provided, regularity of route servicing can be implemented if urban public transport is wisely organised and operated.

It should be noted that one of the best methods for studying and further solving these problems is the study of passenger flows, i.e., «turnover» of passengers, mobility of passenger flows on certain days and at certain times, in a certain direction along city routes. The analysis of these flows can be carried out depending on the characteristics of the route, time of day, days of the week, during a month, season, on a separate route or on all routes, for one mode of transport or for all types of urban passenger transport.

A review of sources (e.g., [4–9]) has shown that analysis of demand for transport services,

information about the regularities of formation of demand for transportation of passengers, as well as detailed study of transport services use information about the rate of satisfaction of demand in the existing transport system. The study of passenger flows can be carried out in full for various modes of transport or individually for a particular mode of transport. Usually, in such studies, the reporting-statistical method, questionnaire method, field surveys are used.

The analysis of passenger flows allows us to consider functioning of public transport, considering development and adoption of standards, i.e., regarding the indicators of transport operations, including the efficiency of transportation, comprising the average travelled distance, traffic speed (vehicle speed), the coefficient of vehicle population, the coefficient of the difference in passenger flows, the coefficient of regularity of routes servicing, etc. All these indicators should be adjusted considering the current situation. The revision and approval of the aforementioned indicators will allow development of an appropriate timetable on routes, choosing the appropriate vehicle capacity, reducing transport costs, ensuring passenger comfort, increasing the level of service and offering acceptable service rates. Subsequently, this will improve the quality of service and the efficiency of vehicle operation.

A successful solution of the problems of rational organisation of passenger transportation and efficient use of rolling stock is impossible without a systematic study of passenger flows within the transport network. In doing so, it is necessary to consider many factors and parameters.

So, e.g., the parameter of «the rate of passenger flows» is very important. It is understood through the number of passengers passing at a certain time through a specific section of the route or the entire transport network of a settlement in one direction [6]. At the same time, it is necessary to differentiate passenger flows that can be constant or variable; one-sided or two-sided; regular or irregular; periodic or intermittent. Variability of passenger flows on routes or in a certain area of the city plays an important role in organising and managing passenger transportation and should be considered when organising transport operations. To ensure a high level of operation of public transport, the quality of service provided to the population, as well as to design



optimal routes, it is necessary, based on the study of passenger flows, to determine the direction of movement and the number of passengers, as well as unevenness of passenger flows on the routes.

The distribution of the population by social categories such as workers, employees, schoolchildren, and students of secondary and higher vocational education is the main factor determining the rate of population mobility.

One of the main factors in improving quality of passenger transportation is the correct choice of vehicles. The fleet of operated public transport vehicles should be analysed in terms of structure design, number of seats, passenger capacity, traffic intensity, driving, and other indicators, from the point of view of their operation in urban, suburban, intercity, and international transportation.

The analysis of passenger flows makes it possible to reveal the population needs in transportation and to organise the work of public transport considering new standards, that is, indicators of transport performance, including the average distance travelled by passengers, travel speed (operating speed), vehicle occupancy rate, coefficient of inequality of passenger flows, coefficient of regularity of the route servicing, etc., that will match the actual situation.

The study can be carried out in full (for all types of passenger transport); only for «individual» types (buses, trolleybuses, trams); selectively on separate routes or groups of routes.

The most common *methods* for studying passenger traffic are reporting and statistical method; questionnaire method; field surveys. Field surveys, in turn, can be represented by coupon, tabular, visual, silhouette and survey methods.

STATEMENT OF THE TASK

To improve the level and quality of passenger service by road transport in Khujand and increase profitability of the city's transport enterprises, it is necessary to study and analyse the flow of passengers.

The *objective* of the study was to present the results of primary analysis of passenger flows in the city of Khujand, particularly of those served by road public transport.

The results will allow to substantiate the practicability of further systematic and detailed study of passenger flow.

RESULTS

Khujand is one of the oldest cities in Central Asia. It is the second largest city in the Republic of Tajikistan and one of the main transportation, political, economic, cultural and scientific centres of the country. In terms of agglomeration, Khujand is second only to Dushanbe (population of Dushanbe accounts 916200 people, Khujand – 181600 people). The agglomeration area of Khujand is 3400 m², and the population density is 269 people/km.

To improve the quality of service and the use of the fleet on bus routes in Khujand, the analysis of passenger flows was carried out using the natural calculation (tabular) method.

The state municipal company «Musofirkashoni Dar Shahri Khujand» operates bus fleet. 18 buses LiAZ-529265 with a capacity of 114 passengers each operate on route No. 1. Passenger flows on bus route No. 1, which covers the territory from micro-district No. 3 of Khujand to st. B. Gafurovsky area (table 1), was studied together with the mentioned company and with the help of students.

This table shows the volume of passenger flows during the day at each of the stops. As it can be



**Results of the study of passenger flows on bus route No. 1:
«Micro-district No. 3 of Khujand–B.Gafurovsky area» (as of 11.06.2019)**

| Passenger flow per single day, persons | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| No. | Name of stops | Number of passengers embarked and disembarked per day, persons | |
| | | Number of embarked passengers | Number of disembarked passengers |
| 1 | Makhallan 3 | 359 | 298 |
| 2 | Kolechi tekhniki | 144 | 123 |
| 3 | Daromadi Sartukai | 269 | 256 |
| 4 | Magozai Ismatullo | 189 | 225 |
| 5 | Maktabi Bolaekat | 184 | 226 |
| 6 | Makhallai 8 | 477 | 415 |
| 7 | Makhallai 12 | 366 | 413 |
| 8 | Muassisai Sorbon | 637 | 540 |
| 9 | Pazharniy | 260 | 312 |
| 10 | Regional traffic police | 389 | 449 |
| 11 | TGU | 345 | 432 |
| 12 | HGU | 375 | 598 |
| 13 | Matbuot | 374 | 497 |
| 14 | Rakhimi | 468 | 314 |
| 15 | Varzishgokhi 20-Solagii Istikloliyat | 283 | 263 |
| 16 | Store | 990 | 907 |
| 17 | Stadium | 432 | 428 |
| 18 | Zafar | 364 | 106 |
| 19 | Panjshanbe | 1570 | 1943 |
| 20 | Gulbakhor | 251 | 289 |
| 21 | Zarbof | 509 | 416 |
| 22 | Bofanda | 362 | 328 |
| 23 | Korkhonai Romsar | 128 | 150 |
| 24 | Arbob | 203 | 231 |
| 25 | Mattaib | 209 | 240 |
| 26 | Autostation | 429 | 422 |
| 27 | Traffic police Khadzhenski | 169 | 205 |
| 28 | Atush bozor | 499 | 110 |
| 29 | Barakat | 580 | 256 |
| 30 | Sakhovat | 68 | 467 |
| 31 | Somon bozor | 103 | 519 |
| 32 | Gardishi Buston | 169 | 234 |
| 33 | SIMU 25 | 120 | 138 |
| 34 | ChDMM Saier | 221 | 228 |
| 35 | Kasri Farkhang | 117 | 150 |
| 36 | Shubai shinosnomadikhii shakhraki B.Gafurov | 178 | 155 |
| 37 | Station | 992 | 499 |
| Total | | 13782 | 13782 |
| Passengers enjoying discounts (children of school age and other categories of passengers with a discount of up to 50 %) | | 431 | 431 |
| Passengers enjoying discounts (fully exempt from fare) | | 133 | 133 |



seen, the largest number of passengers entering and leaving is observed at the bus stop near Panjshanbe bazaar: 11,4 % of passengers embark and 14 % disembark at the bus stop. The busiest bus stops along the route are the stops near the department store, Barakat shopping center, Atush bazaar, Sakhovat bazaar and Somon bazaar, which are located at a distance of 100 to 250 meters from each other. Other «popular» stops are also Station stop, stops located in the centre of B. Gafurovsky area, next to Farovon central market. Research shows that passenger embarkation and disembarkation always increase at stops near shopping malls, businesses, health centres, universities, educational institutions and recreational facilities.

A similar survey on passenger flows was carried out on three more bus routes in the city.

On route No. 4 (micro-district No. 34 of Khujand city–Guliston town–Bakhoriston sanatorium), the analysis showed that 10 LiAZ-529265 buses operate on the route, accommodating 114 passengers each (transit capacity is 6855 passengers per day).

A study was also carried out on the route No. 5, quarter «Yova» («Galamaidon»)–Babadzhan Gafurovsky area (Seventh settlement). 18 buses of LiAZ-429260 brand, with a capacity of 85 people, operate on this route, daily transportation attained 7986 passengers.

After analysing these figures, the authors concluded that unevenness of the number of passengers on these routes depends on the working hours of the townspeople and the points of departure of passengers. From 6-00 till 8-00 a.m. the number of passengers exceeded the normal rate, so, there was a shortage of buses. Also at this time, one could observe an irregularity in bus traffic.

It was also recorded that toll collection was not carried out properly by the transport company

on these routes. As a result of the obtained data and calculations, it was revealed that the amount collected by the conductors is 15–20 % less than the normally calculated amount.

The analysis of operation of route No. 1 was carried out considering the volume of transported passengers, fare collectability, the number of passengers enjoying the discounts, tariff for transportation, income of motor transport companies from provision of services for transportation of passengers (Table 2).

It is necessary to consider the specifics of the city routes of Khujand. Some stopping points are located outside the city (in the nearby suburban areas). But the analysis of passenger flows shows that 70–80 % of passengers using this route are residents of the city of Khujand. The Table 2 analyses the number of passengers enjoying the discounts, including those who are entitled to completely free travel or to 50 % exempt from payment. This is considered in the calculations.

It can be seen from this table that passengers completely exempted from fare make up only 0,96 % of all passengers, and those exempted by 50 % (children of school age up to 12 years old belong to this category, according to the Instruction of the Procedure for Registration and Accounting of Privileged Passengers in Public Transport of the Republic of Tajikistan¹⁾ accounted for 3,1 % of the entire bus population.

As shown in Table 2, the fare, according to observations within one day, amounted to 16 266 somoni, however, according to the reports of SUC «Musofirkashoni dar shahri Khujand», receipts from the proceeds for travel amounted

¹⁾ «Instruction of the Procedure for Registration and Accounting of Privileged Passengers in Public Transport of the Republic of Tajikistan», approved by the Order of Minister of Transport of the Republic of Tajikistan No. 113 dated 16.08.2011.



Table 2
Analysis of passenger flows on bus route No. 1: «Microdistrict No. 3 of Khujand–B.Gafurovsky area»
as of 11.06.2019

| No. | Bus state registration number | Number of passengers per day, persons | | | Toll collection, according to observations, somoni | | | Considering the amount of the fare, somoni | | | | Amount paid, somoni | Income difference, somoni | | | |
|-------|-------------------------------|---------------------------------------|------|------|----------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------|-------------------|------|---------------------|---------------------------|-------|-------|--------|
| | | Total | 1 | 1,5 | 2 | Privileged passengers ¹ | Privileged passengers (completely exempt from payment) | Total | Direct direction | Reverse direction | 1 | | | 1,5 | 2 | 50 % |
| 1 | 7926 | 859 | 584 | 174 | 101 | 0 | 0 | 1047 | 488,5 | 558,5 | 584 | 261 | 202 | 0 | 830 | -217 |
| 2 | 7931 | 727 | 495 | 131 | 69 | 25 | 7 | 842 | 360 | 482 | 495 | 196,5 | 138 | 12,5 | 702 | -140 |
| 3 | 7932 | 823 | 485 | 207 | 87 | 32 | 12 | 985,5 | 515 | 470,5 | 485 | 310,5 | 174 | 16 | 805 | -180,5 |
| 4 | 7942 | 761 | 508 | 128 | 91 | 24 | 10 | 894 | 409,5 | 484,5 | 508 | 192 | 182 | 12 | 778 | -116 |
| 5 | 7958 | 935 | 582 | 212 | 124 | 12 | 5 | 1154 | 554,5 | 599,5 | 582 | 318 | 248 | 6 | 781 | -373 |
| 6 | 7959 | 964 | 555 | 194 | 144 | 54 | 17 | 1161 | 579 | 582 | 555 | 291 | 288 | 27 | 840 | -321 |
| 7 | 7964 | 307 | 209 | 59 | 34 | 5 | 0 | 368 | 214 | 154 | 209 | 88,5 | 68 | 2,5 | 808 | 440 |
| 8 | 7977 | 767 | 504 | 136 | 110 | 13 | 4 | 934,5 | 396,5 | 538 | 504 | 204 | 220 | 6,5 | 767 | -167,5 |
| 9 | 7981 | 816 | 536 | 189 | 62 | 23 | 6 | 955 | 430,5 | 524,5 | 536 | 283,5 | 124 | 11,5 | 743 | -212 |
| 10 | 7983 | 840 | 523 | 166 | 78 | 56 | 17 | 956 | 506 | 450 | 523 | 249 | 156 | 28 | 776 | -180 |
| 11 | 7986 | 818 | 581 | 155 | 81 | 1 | 0 | 976 | 386 | 590 | 581 | 232,5 | 162 | 0,5 | 835 | -141 |
| 12 | 7990 | 730 | 440 | 152 | 92 | 35 | 11 | 869,5 | 479 | 390,5 | 440 | 228 | 184 | 17,5 | 805 | -64,5 |
| 13 | 7991 | 800 | 516 | 163 | 108 | 10 | 3 | 981,5 | 489 | 492,5 | 516 | 244,5 | 216 | 5 | 840 | -141,5 |
| 14 | 7992 | 782 | 479 | 183 | 54 | 51 | 15 | 887 | 384 | 503 | 479 | 274,5 | 108 | 25,5 | 850 | -37 |
| 15 | 7994 | 767 | 473 | 157 | 78 | 46 | 13 | 887,5 | 415 | 472,5 | 473 | 235,5 | 156 | 23 | 840 | -47,5 |
| 16 | 7995 | 410 | 284 | 75 | 28 | 18 | 5 | 461,5 | 199 | 262,5 | 284 | 112,5 | 56 | 9 | 500 | 38,5 |
| 17 | 7996 | 945 | 747 | 148 | 16 | 26 | 8 | 1014 | 433,5 | 580,5 | 747 | 222 | 32 | 13 | 800 | -214 |
| 18 | 7998 | 731 | 500 | 140 | 91 | 0 | 0 | 892 | 513 | 379 | 500 | 210 | 182 | 0 | 817 | -75 |
| Total | | 13782 | 9001 | 2769 | 1448 | 431 | 133 | 16266 | 7752 | 8514 | 9001 | 4153,5 | 2896 | 215,5 | 14117 | -2149 |

¹ Privileged passengers (children of school age and other categories of passengers with a discount of up to 50%).

to 14 117 somoni. The difference from the proceeds was 2149 somoni, i.e., 88,8 % of the collected amount was handed over to the cashier of the enterprise.

Similar studies were carried out on bus routes No. 4 and No. 5 of the city of Khujand, where the situation was quite similar.

SHORT CONCLUSIONS

The results of the field survey on passenger flows, despite its once-only nature, have allowed to put forward few hypotheses. So, it is possible to suppose that the main factor determining the rate of population mobility is distribution of the population by social categories: workers, office employees, students, schoolchildren, pensioners. The survey has confirmed the relevance of developing technology for saving and generating income using modern technologies, e.g., through adoption of electronic tickets.

The main conclusion is that the conducted survey has confirmed core research hypothesis on the practicability of regular systematic monitoring of passenger flow to collect and analyse data to further develop suggestions on optimal organisation of the urban public transport operations.

Further research on passenger flows should help to respond to the issues of:

- Justification of the volume of passenger transportation.
- Determination of the average distance travelled by a pedestrian [to reach the stop].
- Calculation of technical, operational, and quality indicators of transport.
- Distribution of passengers per routes.
- Route system and its optimisation.
- Distribution of motor transport by routes and attribution of routes by zones of responsibility of motor transport companies.

REFERENCES

1. Transport and communications of the Republic of Tajikistan, statistical collection [*Transport i svyaz Respubliki Tadjikistan, statisticheskiy sbornik*]. Dushanbe, Agency on Statistics under the President of the Republic of Tajikistan, 2019.

Information about the authors:

Salomzoda, Rakhmiddin S., Ph.D. (Eng), Associate Professor, Head of the Department of Organisation of Transportation and Transport Management of the Tajik Technical University named after academician M. S. Osimi, Dushanbe, Republic of Tajikistan, salomzoda1975@gmail.com.

Boboev, Muzaffar M., Assistant Lecturer at the Department of Cars and Transport Management of Polytechnic Institute of the Tajik Technical University named after academician M. S. Osimi, Khujand, Republic of Tajikistan, muzaffar-bm@mail.ru.

Article received 17.12.2020, approved 15.04.2021, accepted 25.06.2021.

2. Bobiev, R. S., Gafurov, F. J., Nadzhmudinov, F. N. Passenger transportation [*Passazhirskie perezovki*]. Dushanbe, 2017, 92 p.

3. Fattidinov, B. R., Bobiev, R. S., Boboev, M. M. Analysis of modern circumstances of passenger service by road transport in the city of Khujand, problems and development prospects [*Analiz sovremennykh obshchestvennoy obsluzhivaniya passazhirov avtomobilnym transportom v gorode Khudzhande, problemy i perspektiva razvitiya*]. Bulletin. Series: Engineering research, 2019, Iss. 2 (46), pp. 99–107. [Electronic resource]: [http://vp-es.ttu.tj/userfiles/source_1580893662_Vestnik_%E2%84%962_\(46\)_S.l._-2019_g._v_pechat_.pdf](http://vp-es.ttu.tj/userfiles/source_1580893662_Vestnik_%E2%84%962_(46)_S.l._-2019_g._v_pechat_.pdf). Last accessed 26.03.2021.

4. Rakhmatullina, A. R. Methodological provisions for improving quality of urban public transport services. Ph.D. (Economics) thesis [*Metodicheskie polozheniya povysheniya kachestva uslug gorodskogo obshchestvennogo transporta. Dis... kand. ekonom. nauk*]. Samara, SSEU publ., 2014, 146 p. [Electronic resource]: <http://www.dslib.net/economika-xoziajstva/metodicheskie-polozheniya-povysheniya-kachestva-uslug-gorodskogo-obvestvennogo.html>. Last accessed 26.03.2021.

5. Kulev, A. V. Optimisation of passenger transport routes in the city. Ph.D. (Eng) thesis [*Optimizatsiya marshrutov passazhirskogo transporta v gorode. Dis... kand. tekh. nauk*]. Oryol, State university – educational-scientific-production complex, 2015, 142 p. [Electronic resource]: <http://www.dslib.net/remont-transporta/optimizaciya-marshrutov-passazhirskogo-transporta-v-gorode.html>. Last accessed 26.03.2021.

6. Boyko, G. V. Methods for optimizing the structure of transport for servicing urban passenger transportation. Ph.D. (Eng) thesis [*Metodika optimizatsii struktury transporta dlya obsluzhivaniya gorodskikh passazhirskikh perezovok. Dis... kand. tekh. nauk*]. Volgograd, VolgSTU, 2006, 157 p. [Electronic resource]: https://www.studmed.ru/boyko-gv-metodika-optimizatsii-struktury-transporta-dlya-obsluzhivaniya-gorodskikh-passazhirskikh-perezovok_b399abbfeca.html. Last accessed 26.03.2021.

7. Kitov, A. G., Permovsky, A. A. Organisation of work of buses on urban and suburban routes (diploma theses design): Study guide [*Organizatsiya raboty avtobusov na gorodskikh i prigorodnykh marshrutakh (diplomnoe proektirovanie): Uchebno-metodicheskoe posobie*]. Nizhny Novgorod, VGIPU publ., 2009, 110 p. [Electronic resource]: <https://docplayer.com/27471386-Organizaciya-raboty-avtobusov-na-gorodskikh-i-prigorodnykh-marshrutah-diplomnoe-proektirovanie.html>. Last accessed 26.03.2021.

8. Boboev, M. M. Analysis of passenger transportation in Sorditskiy area [*Analiz passazhirskikh perezovok v Sorditskoj oblasti*]. Scientific-methodical journal Academy, 2018, Iss. 1 (28), 103 p. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32314336>. Last accessed 26.03.2021.

9. Gudkov, V. A., Mirotn, L. B., Velmozhin, A. B., Shiryayev, S. A. Passenger Road transportation [*Passazhirskie avtomobilnye perezovki*]. Moscow, Goryachaya liniya Telecom, 2004, 448 p. [Electronic resource]: https://www.studmed.ru/gudkov-va-mirotn-lb-passazhirskie-avtomobilnye-perezovki_89a643fe0e3.html. Last accessed 26.03.2021. ●





A Type of Transportation Problem to be Solved Following the Time Criterion and Considering Vehicle Features



Nikolay M. NECHITAYLO

Nikolay M. Nechitaylo

Russian University of Transport, Moscow, Russia.

✉ nechitaylo2007@yandex.ru.

ABSTRACT

The formulation of classical minimax transport-type problems involves the search for an optimal transportation plan considering only time of delivery of resources. The inevitable additional costs of processing resources at the origin and destination are usually not considered. This approach is fully justified given incommensurability of delivery times of resources along available routes and times of preliminary/subsequent processing of resources. At the same time, in a number of practical problems, the time spent on loading/unloading (for example, when organising loading of packaged mineral fertilizers from port warehouses onto ships) can be of significant importance. In such cases, when searching for an optimal transportation plan, it is necessary to take into account not only travel times of vehicles used along the set routes, but also the costs of loading and unloading operations, considering the number of available vehicles and their characteristics, for example, payload.

In this regard, the objective of the study is not only to develop a method for calculating the optimal transportation plan, but also a

method for distributing vehicles, considering their number and features.

At the same time, another no less important objective of the study is to substantiate the application of the method of successive reduction of residuals, considering the form of the objective function, which considers not only the main parameters of classical minimax transport-type problems, but also the quantitative characteristics of vehicles involved in the transport operation. It is fundamentally important that the use of the method of successive reduction of residuals determines the polynomial computational complexity of the algorithm, which makes it possible to use it in the operational solution of problems of practical dimension.

To solve the problem of distributing available vehicles according to the origin points, considering payload of vehicles, it is proposed to use the method of dynamic programming. An illustrative example of distribution of delivery vehicles, adapted for the use in MS Excel, is considered.

Keywords: transportation problem, minimum time criterion, processing costs, carrying capacity.

For citation: Nechitaylo, N. M. A Type of Transportation Problem to be Solved Following the Time Criterion and Considering Vehicle Features. *World of Transport and Transportation*, 2021, Vol. 19, Iss. 3 (94), pp. 216–222. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-8>.

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

Minimax transportation-type problems [1–3] do not consider time for loading and unloading operations. The article proposes to consider time losses not only for delivery of resources, but also for losses during loading/unloading of resources at the origin point and at destination point. In this case, we will assume that time spent on processing resources has a linear dependence on the amount of resources forwarded along each of available routes. It is necessary to consider both the presence of vehicles involved and their characteristics, for example, payload capacity. This formulation of the problem is similar to the classical linear transport problem [4], to the problems with a minimax objective function [5; 6], and to problems with fixed surcharges [7–9], the solution of which during linearisation of the objective function leads to significant errors, and the search for an exact solution by combinatorial methods determines unacceptable (exponential) computational efficiency. The minimax nature of the control quality indicator of the problem under consideration makes it possible to solve the general problem as a set of subproblems on the maximum traffic flow [8; 10; 11]. Moreover, since the central place in the proposed algorithm is offered to the method of successive reduction of residuals with polynomial computational complexity [3], computational complexity of the proposed algorithm will have the same computational complexity [8; 12; 13]. Hence follows the conclusion about applicability of the proposed algorithm in problems with a sufficiently large number of variables. It should be noted that the approach based on a sequential dimension reduction of the problem [14] leads, as a rule, to solutions that are far from optimal ones. And the previously solved problems related to processing of resources at destinations [15; 16] did not consider either the number of available vehicles or the need for their optimal distribution along the operated routes. As another argument in favour of the relevance of the problem considered in the article, it should be pointed out that the study of transportation-type models, including time spent on loading and unloading operations, and, as a special case, time spent at intermediate processing points, still attracts close attention of researchers [17; 18].

The *objective* of the study is to develop a method for calculating the optimal transportation plan and a method for distributing vehicles considering their number and features.

RESULTS

Let there be m starting points with resources a_i ($i = 1 \dots m$) and n destinations with needs b_j ($j = 1 \dots n$). The condition for admissibility of the transportation plan $\|x_{ij}\|$ ($i = 1 \dots m, j = 1 \dots n$) is compliance with the usual constraints for a linear transportation problem:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^n x_{ij} &\leq a_i, \quad i = 1 \dots m; \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} &\leq b_j, \quad j = 1 \dots n; \\ x_{ij} &\geq 0, \quad i = 1 \dots m, j = 1 \dots n \end{aligned} \right\}. \quad (1)$$

where a_i is resource volume in A_i ;

b_j – needs of B_j ;

x_{ij} – number of resource units on the route $A_i \rightarrow B_j$.

The solution will be optimal when the function $F(x_{ij})$ reaches the minimum:

$$F(x_{ij}) = \max f(x_{ij}), \quad i = 1 \dots m, j = 1 \dots n, \quad (2)$$

where:

$$f(x_{ij}) = \begin{cases} t_{ij} + (t'_i + t''_j)x_{ij}, & \text{if } x_{ij} > 0, \\ 0, & \text{if } x_{ij} = 0. \end{cases} \quad (3)$$

t_{ij} – time of travel from A_i to B_j ;

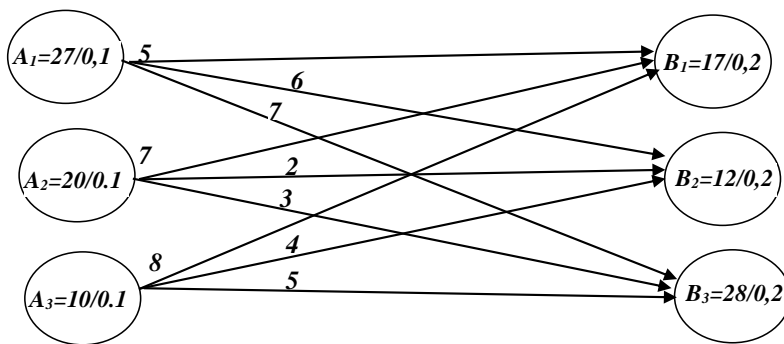
t'_i – losses during loading (processing) of a resource unit in A_i ;

t''_j – losses during unloading (processing) of a resource unit in B_j .

As a preliminary step, it is necessary to calculate the lower boundary of the objective function. Then, using the found value of the lower boundary F_n , it is necessary to calculate d_{ij} ($i = 1 \dots m, j = 1 \dots n$) and try to place nonzero x_{ij} only along «allowed» routes. For solving the problem, it is proposed to use the Egerváry (Hungarian) method [7; 8], since in this case there will be no requirement to balance resources and needs. In addition, the Hungarian method is not critical to the appearance of degeneracy, which can subsequently be eliminated at the stage of analysing the obtained optimal solution.

In case of successful placement of non-zero traffic along routes in which $F \leq F_n$ (either the remainder of the resources at the starting points is equal to zero, or all the needs are satisfied), the optimal solution is found. If this is not the case, then it is necessary to slightly (minimally) increase the throughput of routes by increasing (however small) the value of the lower boundary. After completing this procedure, recalculation of the throughput and repetition of the procedure for increasing the flow in the network





Pic. 1. Network of an illustrative example [3].

Table 1
Routes' transit (throughput) capacity
at $F_n = 10,1$ [3]

| | b_1 | b_2 | b_3 |
|-------|-------|-------|-------|
| a_1 | 5 | 6 | 7 |
| a_2 | 7 | 2 | 3 |
| a_3 | 8 | 4 | 5 |
| | 17 | 12 | 10 |
| | 10 | 12 | 10 |
| | 7 | 10 | 10 |

Table 2
Original outline of the example [3]

| | b_1 | b_2 | b_3 |
|-------|-------|-------|-------|
| a_1 | 5 | 6 | 7 |
| a_2 | 7 | 2 | 3 |
| a_3 | 8 | 4 | 5 |
| | 17 | 10 | 18 |
| | | | 10 |

follow. In case of unsuccessful placement of non-zero traffic on available routes, it is necessary to re-increase the transit capacity of routes and recalculate the capacities, and so on. To illustrate the algorithm for calculating F_n , we will use an illustrative example (Pic. 1 and Table 2). Above the edges of the graph, the values of times of delivery of resources between points are put. The data in the upper right corners of the cells of the Table 1 have the same meaning. The number of available resources in points A_i and the value of the needs of points B_j are indicated by numbers in the centres of the circles. Resource unit processing times are specified as denominators.

Based on the above constraints (2, 3), we proceed with the calculation of F_n :

$$F_n = \max\{\min_j [t_{ij} + \min_i (a_i, b_j)(t_i + t''_j)]\} \quad (4)$$

In accordance with (4) $F_n = t_{11} + b_1(t'_1 + t''_1) = 10,1$.

Based on the obtained value, we will calculate the throughput capacity and put them in the lower part of the cells in the Table 1.

To reduce the obviously unpromising steps of the algorithm, it makes sense to refine F_n . The reduction in the number of steps can be achieved by calculating the transit capacity according to the rule:

$$d_{ij} = \begin{cases} \min_{i,j} [a_i, b_j, (F_n - t_{ij}) \text{div}(t_i + t''_j)], & \text{if } t_{ij} \leq F_n; \\ 0, & \text{if } t_{ij} > F_n, \end{cases} \quad (5)$$

where *div* – division with discarding remainder.

The possibility of obtaining a feasible solution (satisfying all constraints) is ensured by validity of the conditions:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^n d_{ij} &\geq a_i, \quad i = 1 \dots m; \\ \sum_{i=1}^m d_{ij} &\geq b_j, \quad j = 1 \dots n. \end{aligned} \right\} \dots \quad (6)$$

If any of the inequalities (6) does not hold, then the conclusion follows either about the impossibility of exporting resources from some origin points, or about the impossibility of delivering the required amount of resources to one or several destinations. In such a situation, the procedure for increasing the lower boundary of the function follows. Based on the updated value of F_n , the route throughput capacity is calculated again in accordance with (5) and the validity of conditions (6) is again checked.

If the identified d_{ij} make it possible to export resources from all origin points and to deliver them to all destination points, then the transition to the next stage of the solution is carried out, that is to drawing up an initial plan, in which the values of transportation x_{ij} are determined by the formula:

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
|----|---------------------|----|----|----|---|---|---|----------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|
| 1 | transportation | 17 | 10 | | | | | 0 | 0 | 0 |
| 2 | | | 2 | 18 | | | | 0 | 0 | 0 |
| 3 | | | | 10 | | | | 0 | 0 | 0 |
| 4 | | | | | | | | = IF (B1=0;0;B18) | | |
| 5 | time | 5 | 6 | 7 | | | | | | |
| 6 | | 7 | 2 | 3 | | | | | | |
| 7 | | 8 | 4 | 5 | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | |
| 9 | cargo lifting | 5 | | | | | | | | 11 |
| 10 | number of loaders 1 | 6 | | | | | | | | |
| 11 | number of loaders 2 | 3 | | | | | | | | |
| 12 | number of loaders 3 | 2 | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | |
| 14 | trips 11 | 4 | 2 | 0 | | | | = INTEGRAL((B1+\$B\$9-1)/(\$B\$9)) | | |
| 15 | trips 12 | 0 | 1 | 4 | | | | = IF (B18<>0;(B1*(SES11+\$ES12));0) + IF (B1*B18<>0; INTEGRAL((B14+B18-1)/B18)*B5;0)/2 | | |
| 16 | trips 13 | 0 | 0 | 2 | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | | | |
| 18 | number of w1 | | | | | | | sum w1= | 0 | |
| 19 | number of w2 | | | | | | | sum w2= | 0 | |
| 20 | number of w3 | | | | | | | sum w3= | 0 | |
| 21 | | | | | | | | | | |
| 22 | route time = | | | | | | | MAX= | 0 | |
| 23 | route time = | | | | | | | MAX= | 0 | |
| 24 | route time = | | | | | | | MAX= | 0 | |
| 25 | MAX= | | | | | | | MAX MAX= | 0 | |

Fig. 2. The optimal plan without considering the number and characteristics of available vehicles (compiled by the author).

$$x_{ij} = \min_j(a'_i, b'_j, d_{ij}), \quad (7)$$

where a'_i, b'_j – resources and needs of the respective origin points and destinations, considering the already assigned transportation.

The transportation plan obtained in accordance with (7) is presented in Table 2, where the upper part of the cells contains times of movement along the corresponding routes, and below the actual values of x_{ij} are shown.

The resulting plan is a solution to the problem. If this statement is false, it is necessary to proceed to the procedure for increasing the traffic flow, increasing F_n if necessary, etc. [3; 7; 8].

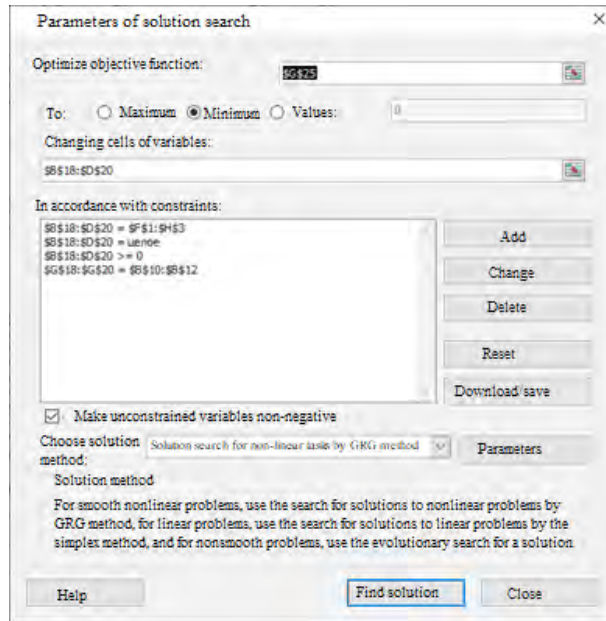
Transportation plan in Table 2 ($F(x_{ij}) = 10,1$) is optimal under the assumption that the resources assigned for transportation along any of the considered routes are transported in one trip, that is, that both the number of vehicles at each starting point and the payload of these vehicles are not lower than existing needs. In this regard, the problem of implementing the previously developed optimal plan, considering the number of vehicles available at the origin points and their payloads, are of certain interest.

In this case, the number of trips on each route can be calculated using the formula:

$$l_{ij} = (x_{ij} + q_i - 1) \text{div } q_p, \quad (8)$$

where q_i – payload (carrying capacity) of the i -th vehicle.





Pic. 3. Completed dialog box (compiled by the author).

In this case, time of travel through each route is calculated by the formula:

$$F'(w_i) = \begin{cases} (l_{ij}t_{ij} + w_i - 1) / w_i + x_{ij}(t'_i + t''_j), & \text{if } l_{ij} \neq 0; \\ 0, & \text{if } l_{ij} = 0, \end{cases} \quad (9)$$

with a constraint $\sum_{i=1}^m w_i \leq W$,

where w_i – number of vehicles in the i -th starting point;

W – total number of vehicles.

The task is to determine the values of the variables w_i , with which

$$F(w_i) = \max_i F'(w_i) \rightarrow \min(i = 1 \dots m). \quad (10)$$

In view of the nature of the objective function (10), it is quite obvious that the solution can be found by combinatorial methods, for example, by the method of dynamic programming. At the same time, it should be noted that in problems of practical dimension, the procedures embedded in MS Excel are quite applicable.

At present, when solving optimisation problems, either programs in high-level programming languages, or common mathematical packages (for example, MathCad), or general-purpose programs (for example, spreadsheets) can be used.

The main disadvantage of programs of the first type is that the developers of such programs are persons focused primarily on development of effective algorithms for the formulated problems [3]. Such programs are highly computation-

ally efficient. When using them, the mathematical formulation of the problem is not required, since it has already been completed during development of the algorithm. The user only needs to enter the initial data. At the same time, the user's interface of such programs is not well-developed and is clear only to a narrow circle of specialists.

Common mathematical packages will require the task to be formalised, which requires a certain level of mathematical knowledge from the part of the user. In addition, the solution of optimisation problems in such packages can lead to the solution of a number of constituent subproblems [2; 7; 8].

General-purpose programs (such as spreadsheets) have a well-thought-out interface. A wide range of actions of the algorithms embedded in them leads to a serious deterioration in computational efficiency [3].

In this regard, the use of MS Excel is considered below to solve the formulated problem. A wider range of optimisation problems solved in the MS Excel environment (the main linear programming problem, the knapsack problem, the resource allocation problem, etc.) is considered in [2].

Pic. 2 shows the found optimal plan for an illustrative example without considering the number and characteristics of available vehicles. To implement this plan, considering available

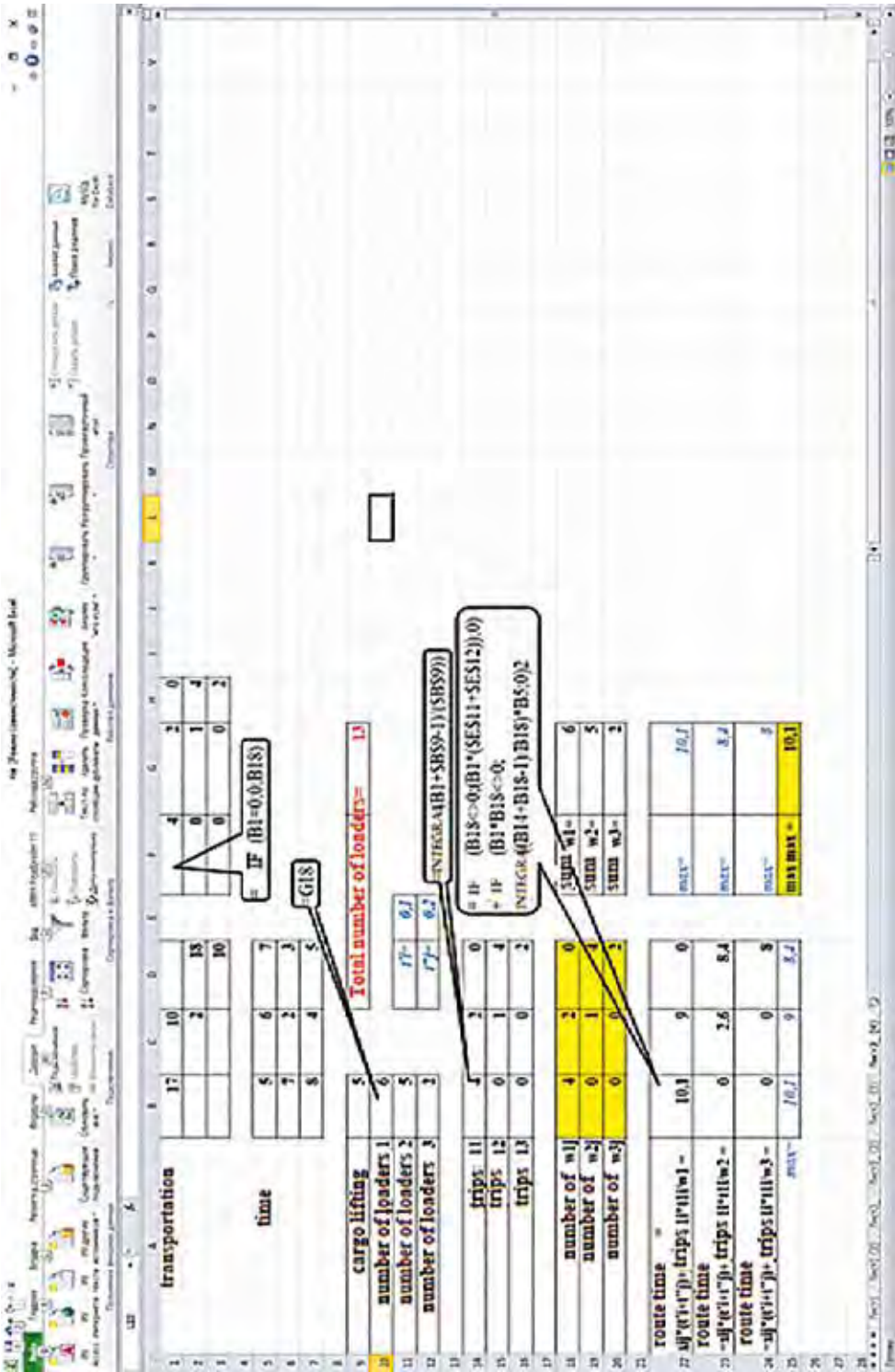


Fig. 4. Result of execution of the command «Search for a Solution» (compiled by the author).



vehicles and their characteristics, for example, payload, it is proposed to use the «solution search» command in MS Excel for small-scale problems.

Pic. 3 shows the completed dialog box of the «solution search» command, and Pic. 4 – the result of its execution.

CONCLUSIONS

Computational complexity of the proposed algorithm for finding the optimal transportation plan is not higher than polynomial, which makes it possible to use it in solving problems of practical dimension.

The procedure for optimal distribution of vehicles available to the decision-maker is formalised for solving small-scale problems using MS Excel.

Developed procedure for optimal allocation of vehicles can be programmatically implemented with one of combinatorial methods, for example, with the dynamic programming method.

REFERENCES

1. Vasiliev, F. P. Numerical methods for solving extremal problems [*Chislennyye metody resheniya ekstremalnykh zadach*]. Moscow, Nauka publ.; GRFML publ., 1988, 552 p.
2. Zolotukhin, V. F., Martemyanov, S. V., Nechitaylo, N. M., Prokopets, V. N. Modeling of systems: Study guide [*Modelirovaniye sistem: Ucheb. posobie*]. Moscow, Ministry of Defense of the Russian Federation, RVIRV publ., 2000, 164 p.
3. Nechitaylo, N. M. Mathematical models of transport type by the criterion of time: Monograph [*Matematicheskie modeli transportnogo tipa po kriteriyu vremeni: Monografiya*]. Rostov-on-Don, RGUPS publ., 2007, 146 p.
4. Ventzel, E. S. Foundations of the theory of combat effectiveness and operations research [*Osnovy teorii boevoy effektivnosti i issledovaniya operatsii*]. Moscow, Military Academy of N. E. Zhukovsky, 1961, 563 p.
5. Drozdov, A. A., Mironyuk, V. P., Tsyplakov, V. Yu. Increasing the efficiency of the two-stage transportation system: the example of solid municipal waste management [*Povysheniye effektivnosti sistemy dvukhetapnoi transportirovki: na primere upravleniya tverdyimi bytovymi otkhodami*]. *Engineering Bulletin of the Don [Inzhenerny Vestnik Dona]*, 2012, Iss. 4. [Electronic resource]: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1078>. Last accessed 17.12.2020.
6. Zukhovitsky, S. I., Avdeeva, L. I. Linear and convex programming [*Lineinoye i vypukloye programmirovaniye*]. Moscow, Nauka publ.; GRFML publ., 1969, 382 p.
7. Korbut, A. A., Finkelstein, Yu. Yu. Discrete programming [*Diskretnoye programmirovaniye*]. Moscow, Nauka publ.; GRFML publ., 1969, 368 c.
8. Trius, E. B. Problems of mathematical programming of transport type [*Zadachi matematicheskogo*

programmirovaniya transportnogo tipa]. Moscow, Sov. radio publ., 1967, 208 p.

9. Bozhenyuk, A. V., Gerasimenko, E. M. Development of an algorithm for finding the maximum flow of the minimum cost in a fuzzy dynamic transport network [*Razrabotka algoritma nakhozhdeniya maksimalnogo potoka minimalnoi stoimosti v nechetkoi dinamicheskoi transportnoi seti*]. *Engineering Bulletin of the Don [Inzhenerny Vestnik Dona]*, 2013, Iss. 1. [Electronic resource]: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1583>. Last accessed 17.12.2020.

10. Golshtein, E. G., Yudin, D. B. Transport-type linear programming problems [*Zadachi lineinogo programmirovaniya transportnogo tipa*]. Moscow, Nauka publ.; GRFML publ., 1969, 384 p.

11. Dantzig, G. B. Application of the simplex method to a transportation problem. Activity analysis of production and allocation. Ed T. C. Koopmans, Cowles Commission Monograph, 13, Wiley, New York, 1951, 373 p.

12. Hitchcock, F. L. Distribution of a product from several sources to numerous localities. *J. Math. Phys.*, 1941, 230 p.

13. Nechitaylo, N. M. Multi-index minimax transportation-type models and streaming methods for their solution [*Mnogoindeksnie minimaksnie modeli transportnogo tipa i potokovyye metody ikh resheniya*]. *Mathematical modelling*, 2014, Vol. 26, Iss. 2, pp. 95–107. [Electronic resource]: http://www.mathnet.ru/php/getFT.phtml?jmid=m&paperid=3451&what=fullt&option_lang=rus. Last accessed 17.12.2020.

14. Ivitsky, V. A., Makarenko, A. A. Solution of the transport problem by the method of successively decreasing its dimension. *World of Transport and Transportation*, 2017, Vol. 15, Iss. 4, pp. 34–41. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1246/0>. Last accessed 17.12.2020.

15. Nechitaylo, N. M. Time-based transportation patterns and their adjustment for resources processing timetable at points of destination. *World of Transport and Transportation*, 2013, Vol. 11, Iss. 1, pp. 14–19. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/299>. Last accessed 17.12.2020.

16. Nechitaylo, N. M. Application of minimax models of transport type in DSS in railway transport [*Primeneniye minimaksnykh modelei transportnogo tipa v SPPR na zheleznodorozhnom transporte*]. *Review of applied and industrial mathematics*, 2011, Vol. 18, Iss. 2, pp. 311–312. [Electronic resource]: <http://tvp.ru/conferen/vsppm12/kazad016.pdf>. Last accessed 17.12.2020.

17. Prokhorenkov, A. M., Istratov, R. A. Mathematical simulation of transshipment process management within a sea port. *World of Transport and Transportation*, 2013, Vol. 11, Iss. 1, pp. 20–28. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/300>. Last accessed 17.12.2020.

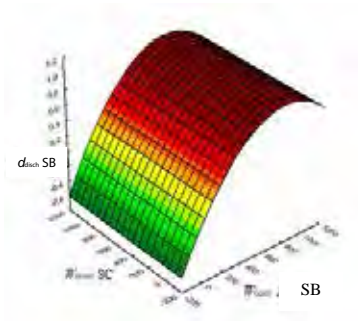
18. Esenkov, A. S., Leonov, V. Yu., Tizik, A. P., Tsurkov, V. I. Nonlinear integer transport problem with additional points of production and consumption [*Nelineinaya tselochislennaya transportnaya zadacha s dopolnitelnymi punktami proizvodstva i potrebleniya*]. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Theory and control systems*, 2015, Iss. 1, pp. 88–94. [Electronic resource]: <http://naukarus.com/nelineynaya-tselochislennaya-transportnaya-zadacha-s-dopolnitelnymi-punktami-proizvodstva-i-potrebleniya>. Last accessed 17.12.2020. ●

Information about the author:

Nechitaylo, Nikolay M., Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Digital Technologies for Transportation Process Management of Russian University of Transport, Moscow, Russia, nechitaylo2007@yandex.ru.

Article received 17.09.2020, approved 23.12.2020, accepted 14.03.2021.

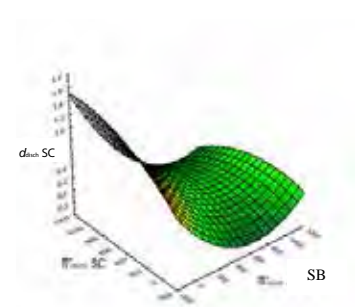
T



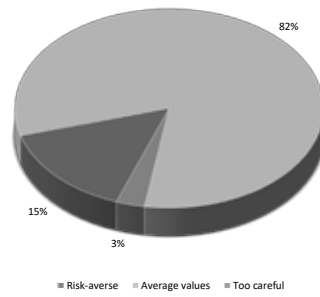
ENERGY EFFICIENT TECHNOLOGY

224

Indicators of the systems of storage of recuperated energy used for the own needs of traction substations prove significant energy efficiency.



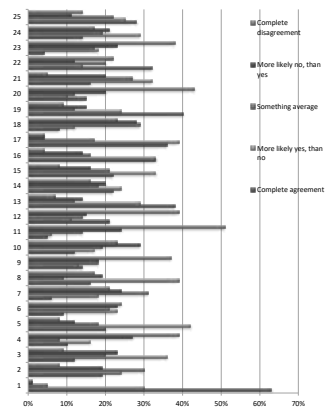
SAFETY, SUSTAINABILITY, ENVIRONMENTAL PROTECTION



ROAD SAFETY

238

Risk perception among young drivers: the results of survey followed by conclusions.





Increasing the Efficiency of Recuperation Through the Use of Energy Storage Systems for the Own Needs of Traction Substations



Vladislav L. Nezevak

Omsk State Transport University, Omsk, Russia.

✉ NezevakWL@mail.ru.

Vladislav L. NEZEVAK

ABSTRACT

The use of regenerative braking by electric rolling stock on DC railways makes it possible to increase the energy efficiency of the transportation process. The effective use of regenerative braking is associated with creation of conditions for receiving energy obtained through it. For these purposes, rectifier-inverter converters and energy absorbing devices are currently used in the traction power supply system.

A promising technology that provides an increase in the efficiency of the use of regenerative braking is energy storage, which allows this energy to be used in the future to cover the traction load curve. A feature of the use of regenerative braking on single-track sections of DC railways with low traffic intensity is the need to use converters or energy absorbing devices. One of the options for increasing the efficiency of recuperation energy use is the adoption of energy storage systems for the own needs of traction substations. The use of this technical solution is advisable on single-track sections with intensive use of regenerative braking, the effectiveness of which is explained through a decrease in power consumption for own needs of the substation from the external grid.

The international research allows us to identify the widespread trend towards the application of electricity storage technology in

various fields: from renewable energy sources to electric power systems, including transport power supply systems. International practices demonstrate successful implementation of pilot projects of adoption of energy storage systems for solving problems of increasing the efficiency of electric urban and suburban transport, as well as of metro systems.

The objective of the work is to assess the energy performance of energy storage systems when using recovered energy for own needs of a traction substation. The study is based on the methods of mathematical and simulation modelling, optimisation, and mathematical statistics.

The discussed issues refer to the use of energy storage systems to provide power supply for own needs of DC traction substations. Main issues of operation of storage systems are considered with the help of a substation case study. The features of the recuperation load curve are described to explain the use of hybrid technologies for developing a storage system. The example of the considered traction substation helps to demonstrate the solution to the problem of determining main parameters of the storage system, considering the specifics of operation of electrochemical and electrical modules.

Keywords: railways, regenerative braking, direct current, traction substation, own needs, storage system, power, power consumption, hybrid device.

For citation: Nezevak, V. L. Increasing the Efficiency of Recuperation Through the Use of Energy Storage Systems for the Own Needs of Traction Substations. *World of Transport and Transportation*, 2021, Vol. 19, Iss. 3 (94), pp. 224–237. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-9>.

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

The intensive development of energy storage technologies, transformation, and a decrease in the unit cost of storage systems stipulates consideration of the issues of their application to increase the energy efficiency in transportation systems.

As international studies show, at present, the issues of using energy storage systems based on storage devices of various types are relevant, and this technology is used in the electric power industry for renewable energy sources [1; 2], power supply systems of settlements [3; 4], vehicles [5; 6], transport systems [7; 8], and others.

Development of technologies, improvement of specific characteristics and reduction of the cost of various types of electric energy storage devices determine the prospects for the use of storage systems for rolling stock and in railway power supply systems while solving a wide range of problems [9–11].

STATEMENT OF THE PROBLEM

The *objective* of the article is to determine the influence of the power consumption of energy storage systems on the efficiency of use of recuperation energy and power when energy storage systems are located at traction substations for supplying their own needs; to identify the nature of the change in the rate of recuperation energy efficiency in general and with regard to modules of the hybrid storage system depending on their power consumption; to assess the level of parameters of storage systems intended for own substation's needs and based on hybrid technology using the example of a traction substation with a given own needs' load and recuperation capacity. The assessment of the energy performance of the storage system is carried out using the *methods* of mathematical and simulation modelling. The parameters of the hybrid storage system are estimated based on the *methods* of optimisation and mathematical statistics.

RESULTS

Substation Load Characteristic

Electricity storage systems at electrical substations and stations are used as a backup source of electricity, which makes it possible to increase reliability of power supply for own needs up to 1000 V in case of a voltage failure at AC buses. A feature of railway traction

substations is the appearance on DC buses of excess recuperation energy transmitted to sections of contact network of adjacent inter-substation sections or to the substation AC network. The specified recuperation energy, depending on the current load level, is distributed over AC connections of traction substations, and is partially returned to the external power supply system [12]. One of the options aimed at increasing the efficiency of the use of recuperation energy is the use of storage systems, which makes it possible to smooth the traction load curve or reduce power consumption for traction needs using recuperation energy.

Reception of excess recuperation energy at traction substations is carried out using reversible converters (rectifier-inverter (inverter) converters) or energy absorbing devices (based on rheostat modules).

The traction load curve at the input of reversible converters makes it possible to assess the level of traction and recuperation load, and to evaluate the statistical indicators. An example below shows load curves for one of traction substations on a single-track section of the railway with intensive use of regenerative braking. A fragment of the circuit of the main electrical connections of a substation with a reversible converter, considered when solving the problem, is shown in Pic. 1.

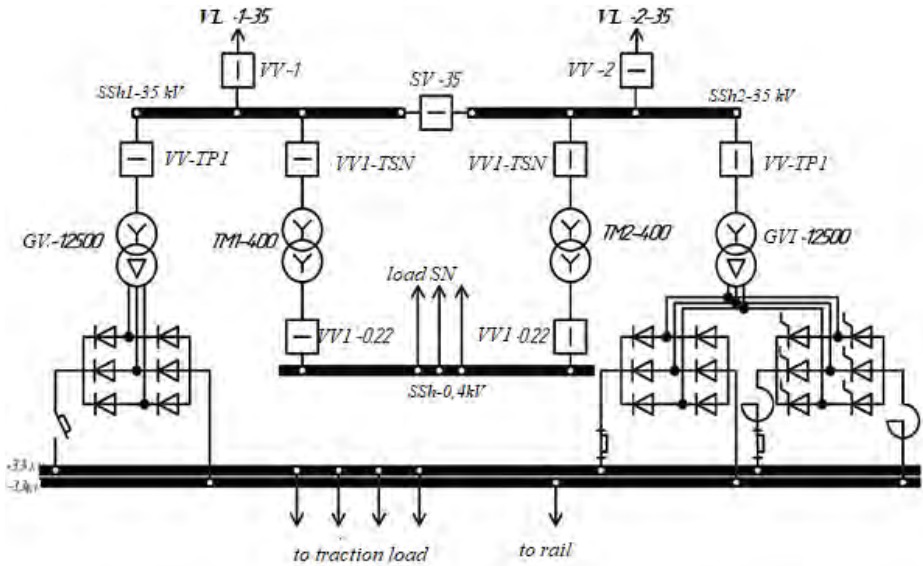
Based on the data of the «Energy Alpha 2» software package, the load curves, and curves of recovered energy with a one-minute interval were built for the traction substation. In the case under consideration, the maximum power consumption of the traction load does not exceed 12,5 MW, that of recuperation does not exceed 1,8 MW (Pic. 2). In more than 80 % of measured cases, the traction load at the input of the rectifier during the day does not exceed 1500 kW, and the recuperation load does not exceed 1050 kW.

Designed or statistical measurement data make it possible to estimate, for the current level of traction load, the maximum values of recuperation power $P_{\max \text{ rec}}$ on the buses of the substation and to determine the charge power of the storage system P_{ESS} considering the prospect of increasing the load k_{prosp} :

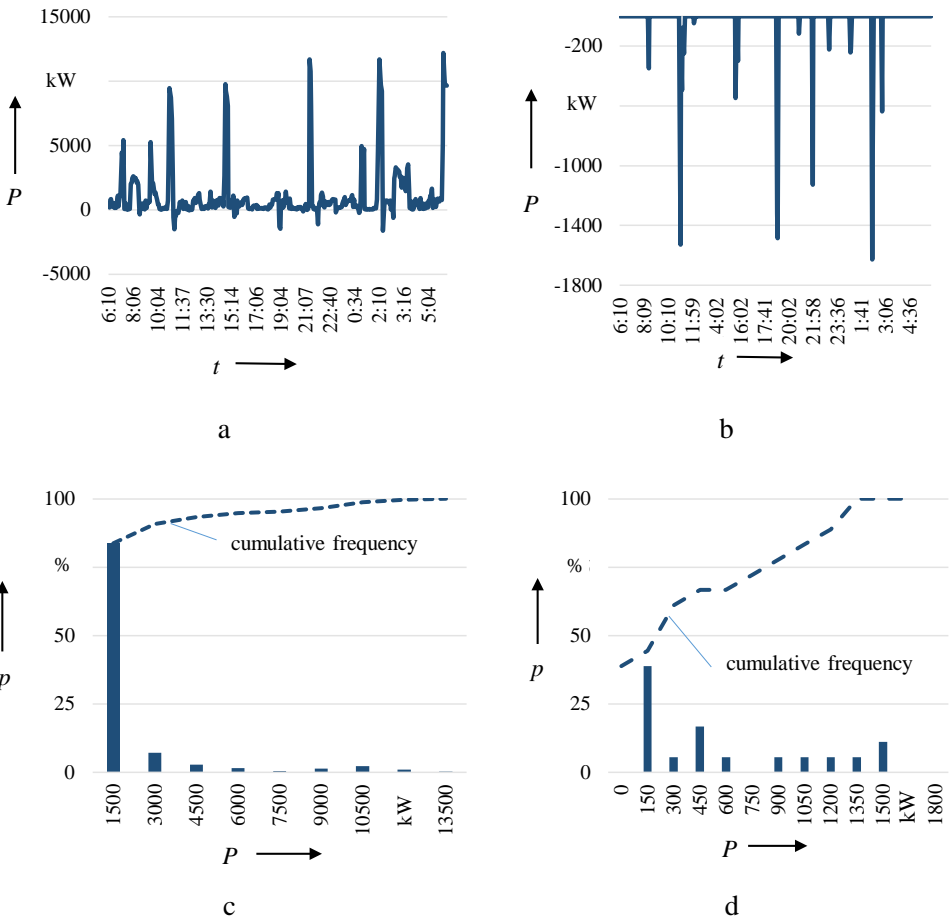
$$P_{\text{ch,ESS}} \geq k_{\text{prosp}} P_{\max \text{ rec}} \quad (1)$$

The choice of settings for operating modes of the energy storage system is based on the rate of traction load and voltage on the buses [14; 15]. The voltage level on the substation buses in the

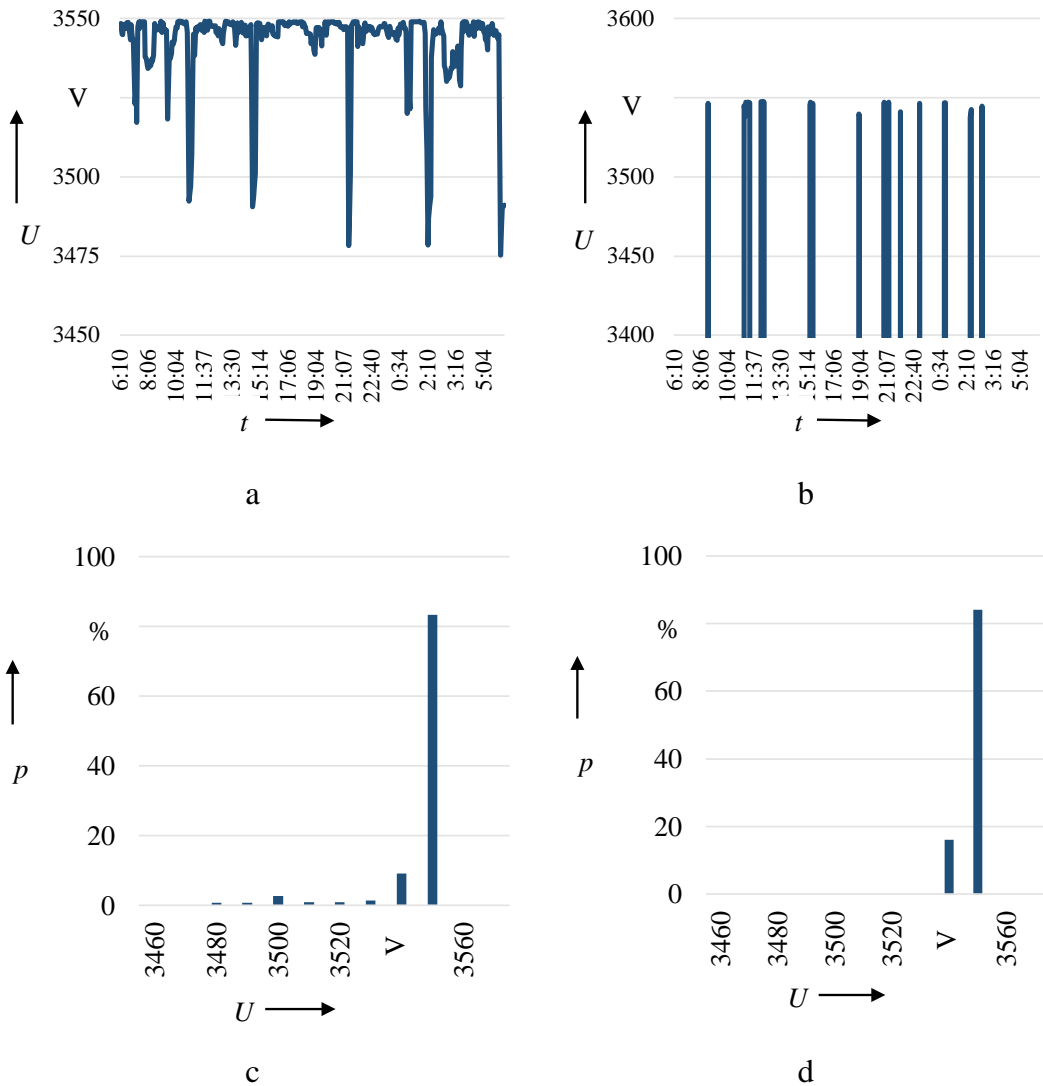




Pic. 1. Fragment of a typical circuit of a DC traction substation with a reversible converter [13].



Pic. 2. Traction load power on the buses of the substation (a), recuperation power (b), distribution of traction power load (c) and of recuperation load (d) (developed by the author).



Pic. 3. Voltages on the buses in the traction mode (a), recuperation mode (b) and voltage distribution in the traction mode (c), and in recuperation mode (d) (developed by the author).

traction mode and in the recuperation energy return mode does not differ significantly, more than 80 % of the measurements record the voltage in the range from 3500 to 3550 V for both modes (Pic. 3).

When setting the operating modes, the conditions for switching on the storage system for charging will be defined as the absence of a load current at the 3,3 kV input and a voltage level exceeding the no-load voltage, considering the voltage change on the high-voltage buses:

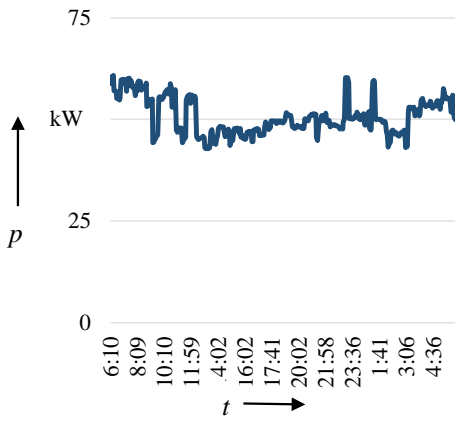
$$I_{\text{inp},3,3} \approx 0; \quad U_{\text{bus},3,3} \geq U_{\text{no-load}} \quad (2)$$

The operating conditions of the storage system in the discharge mode are based on the rate of load due to substation's own needs and on the required voltage minimum maintenance mode (curves and graphs of power and voltage are shown in Pic. 4). The rate of the existing load is assessed according to the measurement data and is specified considering the development prospects.

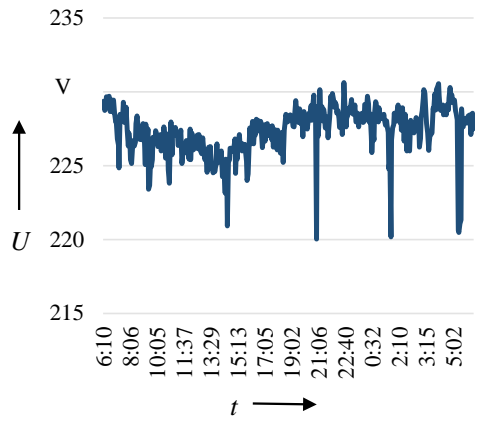
The power of the storage system in the discharge mode will be determined based on the full satisfaction of the own needs' power considering the margin (k_m):

$$P_{\text{disch ESS}} \geq k_m P_{\text{max ON}}; \quad U_{\text{min ON}} \leq U_{\text{bus ON}} \leq U_{\text{max ON}} \quad (3)$$

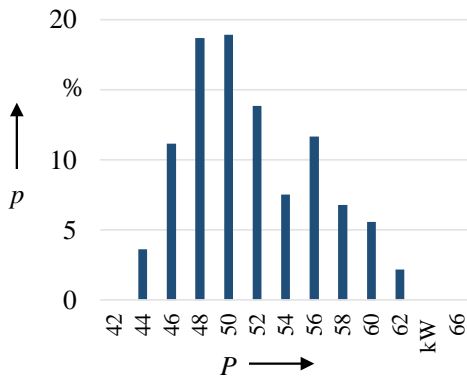




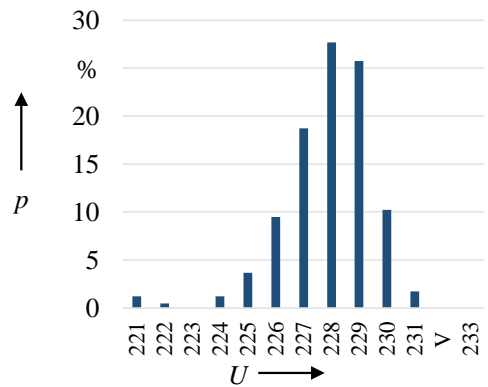
a



b

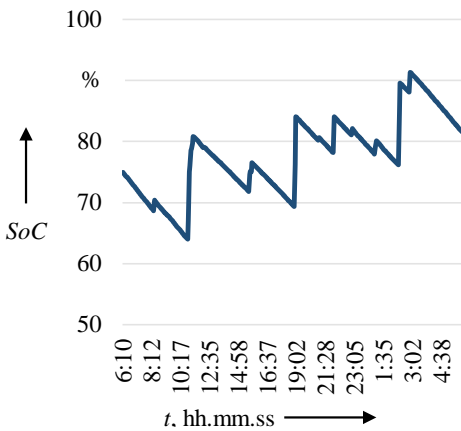


c

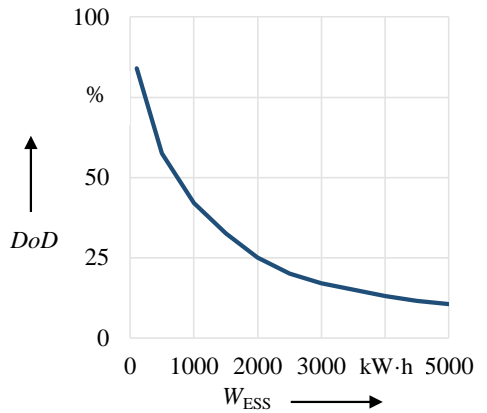


d

Pic. 4. Power (a) and voltage (b) of the system of own needs of the substation; power distribution (c) and voltage (d) on 0,4 kV buses (developed by the author).



a



b

Pic. 5. The state of charge (a) and depth of discharge of the storage system (developed by the author).

Table 1

**Characteristics of episodes of charging for the considered substation
(developed by the author)**

| N_{episode} | I_{max}, A | I_{min}, A | U_{max}, B | U_{min}, B | t, min |
|----------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|
| 1 | 98,7 | 98,7 | 3546,5 | 3546,5 | 3,4 |
| 2 | 22,1 | 431,8 | 3547,3 | 3538,3 | 23,8 |
| 3 | 4,2 | 12,8 | 3547,7 | 3547,6 | 6,8 |
| 4 | 1,4 | 1,4 | 3547,6 | 3547,6 | 3,4 |
| 5 | 34,9 | 153,9 | 3547,2 | 3545,3 | 6,8 |
| 6 | 84,5 | 84,5 | 3546,6 | 3546,6 | 3,4 |
| 7 | 372,5 | 419,6 | 3539,9 | 3538,7 | 6,8 |
| 8 | 32,7 | 32,7 | 3547,2 | 3547,2 | 3,4 |
| 9 | 0,4 | 0,4 | 3547,3 | 3547,3 | 3,4 |
| 10 | 318,3 | 318,3 | 3541,1 | 3541,1 | 3,4 |
| 11 | 62,9 | 62,9 | 3546,6 | 3546,6 | 3,4 |
| 12 | 61,5 | 67,9 | 3546,8 | 3546,8 | 6,8 |
| 13 | 257,1 | 459,8 | 3542,6 | 3537,7 | 6,8 |
| 14 | 179,8 | 179,8 | 3544,6 | 3544,6 | 3,4 |
| Average | 109,4 | 166,0 | 3545,6 | 3544,4 | 6,1 |

Charge and Discharge Conditions of the Storage System at the Substation

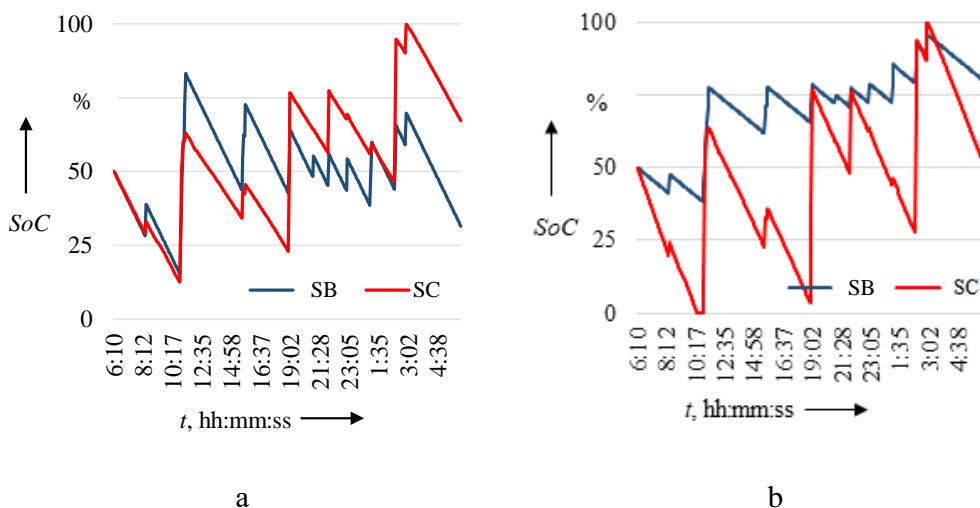
The state of charge of the storage system and the dependence of the depth of discharge on the nominal energy capacity are estimated based on the load curves on 3,3 kV buses and own needs' curves. For the considered traction substation, the curves of the state of charge and the dependence of the depth of discharge on the nominal energy capacity are shown in Pic. 5. Evaluation of the storage system operation for the existing and design conditions makes it possible to evaluate the nature of the change in the state of charge and the required power intensity. The peculiarity of operation of storage systems intended for the own needs of traction substations is the multiple excess of the charge power over the discharge power and the need for a significant increase in power consumption to limit the depth of discharge. In the case under consideration, charge prevails in the curve of the state of charge and limiting the depth of discharge to 30 % determines the power consumption at

the level of 2000 kW•h (7200 MJ). The assessment of the power consumption of the storage system for traction substations, given in [16], needs to be adjusted due to the relatively low value indicated at the level of 200 MJ.

Besides these features, it is necessary to note a short duration of the episodes of charging. The duration of the episodes of charging is in the range from 1 to 24 minutes, and the total number of episodes for the case under consideration is 14 per day (Table 1). Similar values were obtained when studying the traction load for various objects of the traction power supply system [17–19].

The described features of the storage systems operation should be considered when choosing the type of storage device or using hybrid technology. Currently, the industry produces network storage systems based on lithium-ion batteries of various modifications. Manufacturing using container or cabinet design allows changing their power in a wide range from 100 to 1000 kV•A with the possibility of increasing





Pic. 6. The state of charge of the storage modules of the storage system for the first (a) and second (b) options (compiled by the author).

it by connecting several systems in parallel to obtain a total power of up to 20 MV•A and above. The fast-charging time for lithium-ion batteries is about 0,5 hours, which is significantly less than the average duration of an episode of charging for a traction substation. At the same time, the charge time of other types of storage devices, for example, of supercapacitors, does not exceed 10 minutes.

The number of elements in storage modules, regardless of the type, is determined by the required rates of voltage of the storage system and of load by calculating the elements connected in series and in parallel:

$$m = \frac{U_1}{U_{2 \text{ nom}}}; \quad (4)$$

$$n = \frac{I_1}{I_{2 \text{ nom}}}.$$

According to the conditions for limiting the depth of discharge, the use of lithium-ion batteries in the storage system requires a higher energy consumption compared to other types of energy storage devices that are not sensitive to the depth of discharge, for example, to supercapacitors. In this regard, to reduce the total power consumption of the storage system, options for using hybrid technology are being considered. Depending on the combination of the power consumption of the storage elements in the system, their state of charge and the depth of discharge change. As an example, for the substation under consideration, curves of the state of charge are presented for two combinations of the power capacity of a storage battery (SB)

and a supercapacitor (SC) with equal total energy consumption for the following values (Pic. 6):

1) 100/1700 (charge) and 10/1700 (discharge) kW and 100/500 kW•h, respectively, with a depth of discharge of 68 and 88 % for battery and SC, respectively (Pic. 6a).

2) 150/1700 (charge) and 10/1700 (discharge) kW and 250/350 kW•h, respectively, with a depth of discharge of 58 and 100 % for battery and SC, respectively (Pic. 6b).

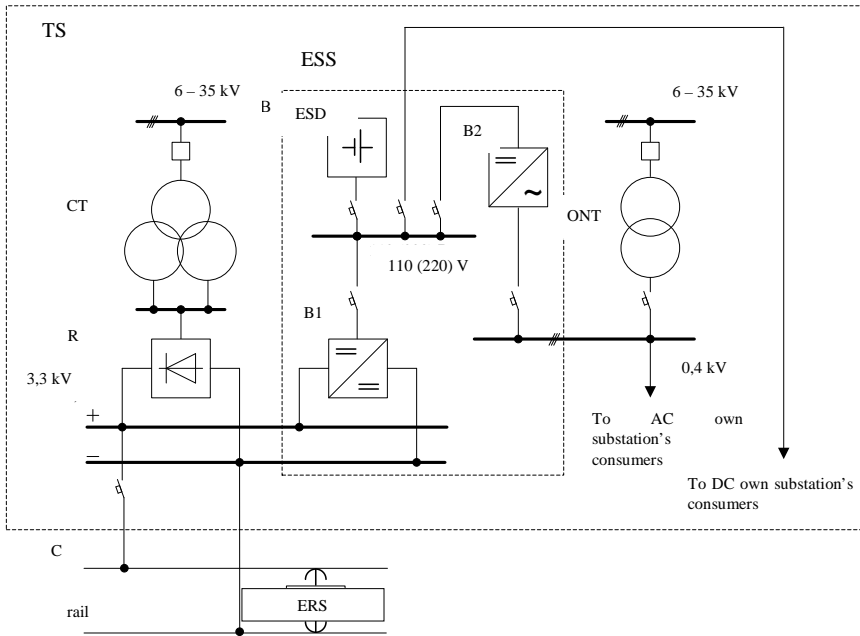
These examples show the possibility of changing the operating conditions of storage modules while maintaining the total power consumption of the system.

Circuit Implementation

Depending on the connection of the storage system to the substation's DC buses, two variants of the circuit implementation can be distinguished. The first option is transmission of power to the system through a DC-to-DC voltage converter (B1), then to the own needs' AC buses through a DC-to-AC voltage converter B2 (Pic. 7).

In the second version, power transmission is carried out by three-phase current using the B1 converter, and the substation DC buses are supplied from the storage device through the B2 converter.

In both versions, B1 converters are produced considering the maximum charging power. Converter B2 for the first version is performed intended for maximum power of own substation's consumers, for the second version the power of the converters B2 and B1, respectively, is equal (Pic. 8). The power of the B2 converter for the



Pic. 7. Connection circuit of the storage system (first version) (developed by the author).
 Symbols used for Pics. 7–8: TS – traction substation; ESS – energy storage system; ESD – energy storage device; ONT – own needs’ transformer; R – rectifier; CT – converter transformer; B1, B2 – Bilateral AC-DC converters; C – catenary; ERS – electric rolling stock.

second variant is higher by the value of the substation DC busbar load. The advantage of the system implementation circuit according to the second option is the use of a voltage of 0,4 kV, which makes it possible to reduce the level of the rated (nominal) current in the main circuits and reduce losses in them, the disadvantage is the need to use a second converter B2 with a power equal to that of B1. To provide galvanic isolation of circuits for own power supply, the converter circuit includes an isolation transformer.

Model for Determining the Parameters of the Storage System

Various options for distribution of the energy capacity of the storage units of the hybrid system differ in their energy performance and cost, which is an integral indicator. In general case, when evaluating investment projects, the effect will be determined, on the one hand, by inflows based on savings in electricity consumed for own needs, on the other hand, by the cost of maintenance, construction, and installation work, replacement of storage elements, etc. Since the indicated costs are assumed to be equal for all options, then when choosing the power consumption of the storage modules of the hybrid system, the objective function of the problem will consider the values of the parameters and their unit cost (power and

power consumption). In this case, solving the problem of determining the power and power consumption makes it possible to determine the optimal values of these quantities based on the following mathematical model:

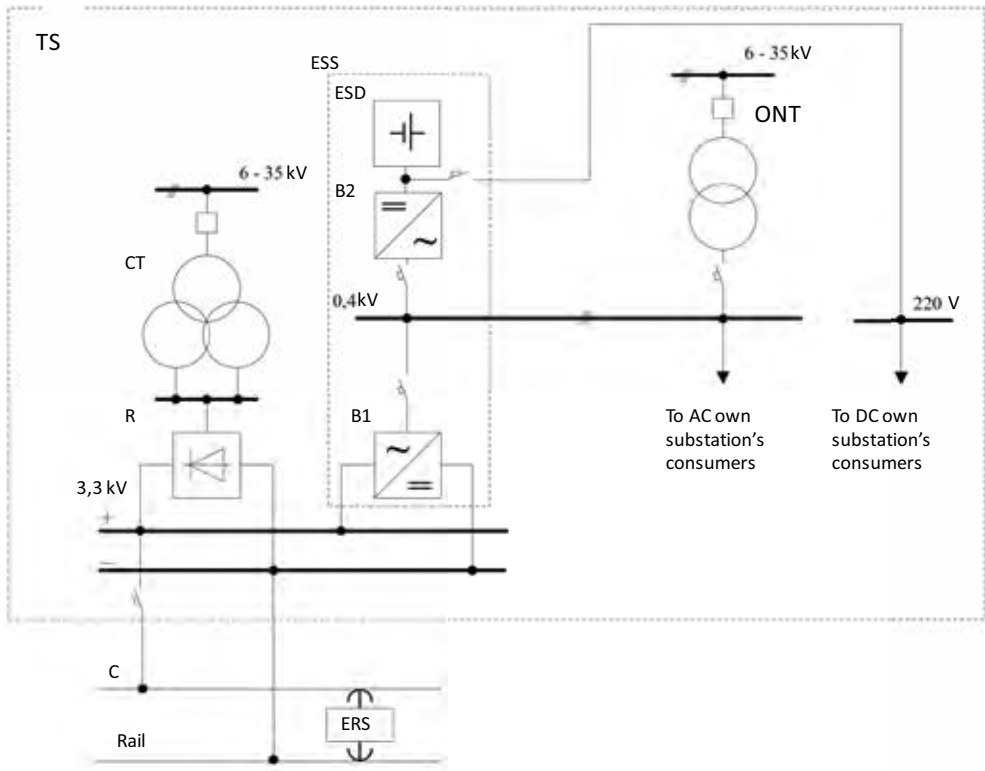
$$\left\{ \begin{array}{l}
 C = aP_{\text{nom}}^{\text{SB}} + bW_{\text{nom}}^{\text{SB}} + cP_{\text{nom}}^{\text{SC}} + dW_{\text{nom}}^{\text{SC}} \rightarrow \min; \\
 P_{\text{nom char}}^{\text{SB}} + P_{\text{nom char}}^{\text{SC}} \geq \max(P^{\text{rec}} - P^{\text{ON}}); \\
 P_{\text{nom disch}}^{\text{SB}} + P_{\text{nom disch}}^{\text{SC}} \geq \max(P^{\text{ON}} - P^{\text{rec}}); \\
 P_{\text{nom}}^{\text{SB(SC)}} = \max(k_{\text{char}}^{\text{SB(SC)}} P_{\text{nom char}}^{\text{SB(SC)}}, k_{\text{disch}}^{\text{SB(SC)}} P_{\text{nom disch}}^{\text{SB(SC)}}); \\
 \forall t_i \in [0; T]: 0 \leq \sum_0^{t_i} W_{t_i}^{\text{SB(SC)}} \leq W_{\text{nom}}^{\text{SB(SC)}}; \\
 P_{\text{nom char(disch)}}^{\text{SB}} \leq k_{\text{char(disch)}}^{\text{SB}} \frac{W_{\text{nom}}^{\text{SB}}}{t}; P_{\text{nom}}^{\text{SC}} \geq P_{\text{max}}^{\text{rec}}; \\
 d_{\text{char}}^{\text{SB}} + d_{\text{char}}^{\text{SC}} \geq d_{\text{char min}}; \\
 d_{\text{disch}}^{\text{SB}} + d_{\text{disch}}^{\text{SC}} \geq d_{\text{disch min}}; \\
 d_{\text{oper}}^{\text{ON}} \geq d_{\text{oper min}}^{\text{ON}}; \\
 d_{\text{oper}}^{\text{rec}} \geq d_{\text{oper min}}^{\text{rec}}; \\
 DoD_{\text{min}}^{\text{SB(SC)}} \leq DoD_{\text{max}}^{\text{SB(SC)}} \leq DoD_{\text{max}}^{\text{SC}}; \\
 SoC_{\text{start}}^{\text{SB(SC)}} - SoC_{\text{end}}^{\text{SB(SC)}} \geq 0;
 \end{array} \right. \quad (5)$$

where C – target function;

a, b, c, d – specific cost of power and power capacity of the storage battery and supercapacitor, respectively;

$P_{\text{nom}}^{\text{SB}}, W_{\text{nom}}^{\text{SB}}, P_{\text{nom}}^{\text{SC}}, W_{\text{nom}}^{\text{SC}}$ – nominal (rated) power and nominal power capacity of the storage battery and supercapacitor, respectively;





Pic. 8. Connection circuit of the storage system (second version) (developed by the author).

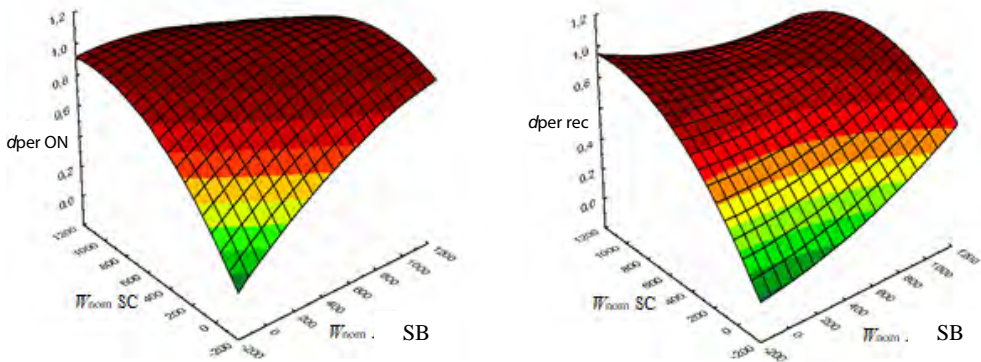
$P_{nom\ char}^{SB}$, $P_{nom\ char}^{SC}$ – nominal power of charging the storage battery and supercapacitor, respectively;

P^{rec} , P^{ON} – power of recuperation and of own substation’s needs, respectively;

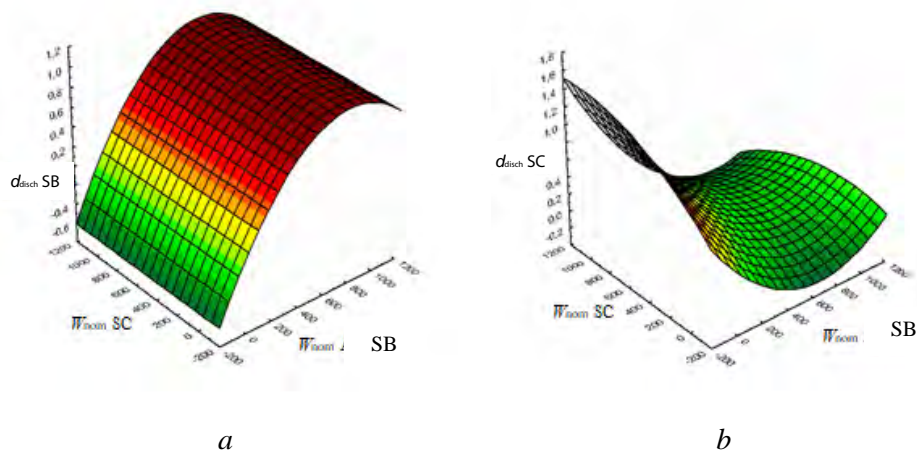
$P_{nom\ disch}^{SB}$, $P_{nom\ disch}^{SC}$ – nominal discharge power of the storage battery and supercapacitor, respectively;

$k_{char}^{SB(SC)}$, $k_{disch}^{SB(SC)}$ – coefficients of increase in nominal charge and discharge power for the storage battery and the supercapacitor, respectively;

$W_{t_i}^{SB(SC)}$, $W_{nom}^{SB(SC)}$ – amount of energy within the interval of the episode t_i and the nominal power capacity of the storage battery and supercapacitor, respectively;



Pic. 9. Rates of the use of substation's own needs energy (a) and recuperation energy (b) (developed by the author).



Pic. 10. Rates of the use of discharge energy of the storage battery (a) and supercapacitor (b) (developed by the author).

t – estimated duration of charge and discharge modes;

d_{oper}^{ON} – coefficient of use of electricity for own needs during discharge:

$$d_{oper}^{ON} = \frac{W_{disch}}{W^{ON}} ; \quad (6)$$

d_{oper}^{rec} – coefficient of use of recuperation energy during charging:

$$d_{oper}^{rec} = \frac{W_{char}}{W^{rec}} ; \quad (7)$$

$d_{char}^{SB(SC)}$ – coefficient of energy use in charge and discharge modes for a storage battery and a supercapacitor, respectively:

$$d_{char}^{SB(SC)} = \frac{W_{char}^{SB(SC)}}{W_{char}^{(disch)}} ; \quad (8)$$

W_{disch} , W_{char} – volumes of energy of the storage system in discharge and charge modes, respectively;

W^{ON} , W^{rec} – volume of electricity for auxiliaries and recuperation for the billing period;

$W_{char}^{SB(SC)}$ – volume of electricity in charge and discharge mode for a storage battery and a supercapacitor, respectively.

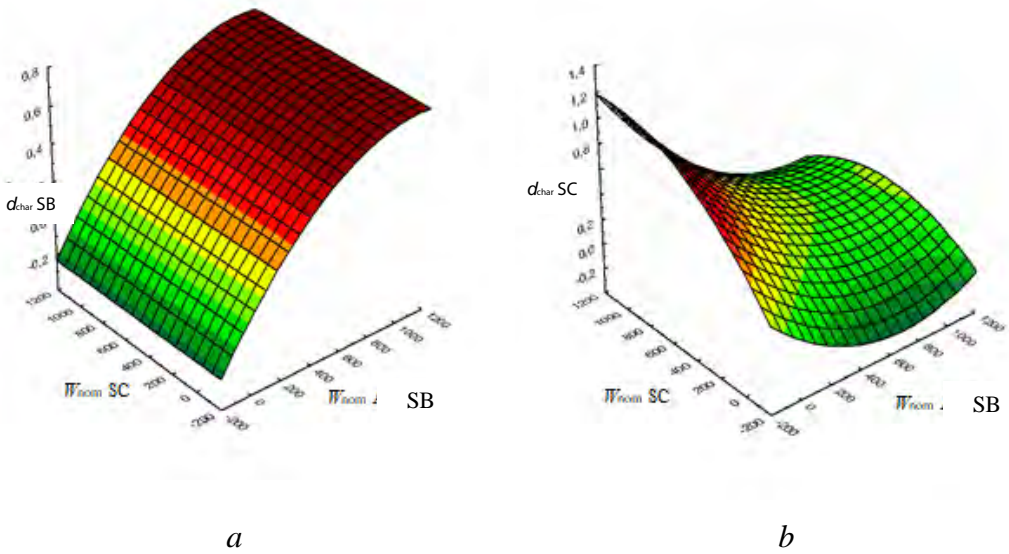
The problem is solved in two stages. At the first stage, the load curve of own substation's needs and power of excess recuperation on buses of the substation is taken as initial data. For the given load profiles, simulation modelling is performed for different power consumption and capacity of storage devices of the system, and coefficients of energy use in charge and discharge modes are determined.

This stage serves to determine restraints on maximum charging and discharging power of the battery and supercapacitor, as well as features of operation, which should include the priority of charging for the battery and limitation of its discharge power. For a supercapacitor, conditions are specified under which the maximum power of this module is used as an additional one to ensure reception of recovered power.

Simulation of the storage system operation for various options of combining energy capacities allows one to obtain functions that describe the change in energy efficiency rates in charge and discharge modes for battery and supercapacitor modules with different combinations of power consumption and power. The obtained values are used to approximate the obtained values for each coefficient.

The second stage serves to solve the problem of finding optimal parameters of the storage system. The specified problem belongs to the problems of conditional nonlinear optimisation, the solution of which is carried out by direct and indirect methods. To solve the problem under consideration, descent method with penalty functions is used. In descent methods, the choice of the direction of descent considers the constraints of the problem in an explicit form; in the methods of penalty functions, the problem is reduced to a sequence of unconstrained optimisation problems by adding auxiliary functions to the objective function and passing to considering constraints in an implicit form.





Pic. 11. Rates of the use of charge energy of the battery (a) and supercapacitor (b) (developed by the author).

Simulation Results

The results of simulation modelling for a given load curve of the substation under consideration make it possible to determine the change in design coefficients depending on energy consumption of the storage system modules. For a given load curve of own consumers and recuperation, the shares of power and energy use are determined by the parameters of storage modules.

The load curve of substation’s own needs and the curve of return of the recuperation energy to the buses of the substation under consideration makes it possible to determine the nature of the change in the coefficients of energy use of the modules in charging and discharging modes. The curves of the change in the use rates obtained in the Statistica program are shown in Pic. 9.

The results obtained for the coefficients of the use of the load of substation’ own needs and recuperation energy can be presented in an analytical form:

$$d_{oper}^{ON} = 0,5007 + 0,0007 \cdot x + 0,001 \cdot y - 2,6219E-7 \cdot x^2 - 5,9361E-7 \cdot x \cdot y - 5,1047E-7 \cdot y^2; \tag{9}$$

$$d_{oper}^{rec} = 0,3439 + 0,0001 \cdot x + 0,0011 \cdot y + 1,9312E-7 \cdot x^2 - 4,2204E-7 \cdot x \cdot y - 5,4906E-7 \cdot y^2. \tag{10}$$

where x – nominal energy capacity of the storage battery W_{nom}^{SB} .;

y – nominal power capacity of the supercapacitor W_{nom}^{SC} .

Changes in the coefficients of the use of discharge energy of the storage battery and supercapacitor are shown in Pic. 10 and can be presented in an analytical form:

$$d_{disch}^{SB} = -0,0323 + 0,0025 \cdot x - 1,4095E-17 \cdot y - 1,5934E-6 \cdot x^2 + 5,6831E-21 \cdot x \cdot y + 8,0468E-21 \cdot y^2; \tag{11}$$

$$d_{disch}^{SC} = 0,5329 - 0,0019 \cdot x + 0,001 \cdot y + 1,3312E-6 \cdot x^2 - 5,9361E-7 \cdot x \cdot y - 5,1047E-7 \cdot y^2. \tag{12}$$

The curves of the coefficients of the use of charge energy of the battery and supercapacitor are shown in Pic. 11 and can be presented in the following analytical form:

$$d_{char}^{SB} = 0,0225 + 0,0012 \cdot x - 3,2526E-18 \cdot y - 5,1582E-7 \cdot x^2 + 9,7887E-21 \cdot x \cdot y - 2,1176E-21 \cdot y^2; \tag{13}$$

$$d_{char}^{SC} = 0,3214 - 0,0011 \cdot x + 0,0011 \cdot y + 7,0893E-7 \cdot x^2 - 4,2204E-7 \cdot x \cdot y - 5,4906E-7 \cdot y^2. \tag{14}$$

The depth of discharge according to the results of calculations in an analytical form is described as follows:

$$DoD^{SB} = 29,6301 + 0,1349 \cdot x - 2,4425E-15 \cdot y - 0,0001 \cdot x^2 + 9,385E-19 \cdot x \cdot y + 1,7483E-18 \cdot y^2; \tag{15}$$

$$DoD^{SC} = 59,2418 - 0,0526 \cdot x + 0,1388 \cdot y + 1,14E-7 \cdot x^2 + 1,8425E-5 \cdot x \cdot y - 0,0002 \cdot y^2. \tag{16}$$

To solve the optimisation problem in the MatLab environment, the mathematical model takes the following form of representation (17):

As an example, the results of solving the problem obtain for the following initial data are

$$\begin{cases}
f = ax_1 + bx_2 + cx_3 + dx_4 \rightarrow \min : \text{target function;} \\
-x_1 - x_3 + 1700 \leq 0 : \text{power limitation;} \\
-x_1 \leq 0 : \text{positive values} \\
-x_2 \leq 0 \\
-x_3 \leq 0 \\
-x_4 \leq 0 \\
x_1 \leq 2000 : \text{positive values range limitation;} \\
x_2 \leq 10000 \\
x_3 \leq 2000 \\
x_4 \leq 10000 \\
-0,2x_2 + x_1 \leq 0 : \text{ratio of SB power and energy capacity;} \\
-5x_4 + x_3 \leq 0 : \text{ratio of SC power and energy capacity;} \\
x_2 + x_4 - 10000 \leq 0 : \text{total energy capacity;} \\
-x_2 - x_4 + 500 \leq 0 : \text{minimal energy capacity} \\
0,3994 - 0,0006 \cdot x_2 - 0,001 \cdot x_4 + 2,1E - 7 \cdot x_2^2 + \\
+ 5,9E - 07 \cdot x_2 \cdot x_4 + 5,1E - 07 \cdot x_4^2 \leq 0 : \text{share of load energy} \\
\text{use regarding substation's own needs;} \\
0,5561 - 1,0e - 4 \cdot x_2 - 0,0011 \cdot x_4 - 1,9E-7 \cdot x_2^2 + \\
+ 0,00422E \cdot x_2 \cdot x_4 + 5,5E-7 \cdot x_4^2 \leq 0 : \text{share of} \\
\text{recuperation energy use;} \\
29,6301 + 0,1349 \cdot x_2 - 2,4425E - 15 \cdot x_4 - 0,0001 \cdot x_2^2 + \\
+ 9,385E - 19 \cdot x_2 \cdot x_4 + 1,7483E - 18 \cdot x_4^2 : \text{SB depth of discharge;} \\
59,2418 - 0,0526 \cdot x_2 + 0,1388 \cdot x_4 + 1,14E - 7 \cdot x_2^2 + \\
+ 1,8425E - 5 \cdot x_2 \cdot x_4 - 0,0002 \cdot x_4^2 : \text{SC depth of discharge.}
\end{cases} \quad (17)$$

presented below: $a = 30$ rel.un./kW; $b = 40$ reel.un./kW·h;

$C = 60$ rel.un./kW; $d = 80$ rel.un./kW·h;
 $P_{\text{rec}} = 1700$ kW; $P_{\text{ON}} = 60$ kW, $P_{\text{SC}} = 1700$ kW;
 $DoD_{\text{min}}^{\text{SB(SC)}} = 0\%$; $DoD_{\text{max}}^{\text{SB}} = 30\%$. $DoD_{\text{max}}^{\text{SC}} = 100\%$.

Presentation of the Problem in Matlab Environment (18)

The value of the objective function for the given conditions was 170,7 thousand relative units (rel.un.) of the cost with the following parameters of the storage system: power and energy capacity of the storage battery were 269,3 kW and 1346 kW·h, respectively, of supercapacitor – 1430,1 kW and 286,1 kW·h, respectively.

The proposed mathematical model makes it possible to obtain the main parameters of a hybrid storage system with a minimum cost based on the initial data on the load and recuperation at the traction substation, given

constraints and accepted assumptions. The cost of the life cycle, considering changes in the service life of storage elements, self-discharge rate, degradation, environmental impact, etc., can be taken as a target (objective) function in the model. The solution of this problem makes it possible to determine the parameters of storage systems for other objects of the traction power supply system [20–23].

CONCLUSIONS

The proposed application of the energy storage system allows to reduce power consumption for auxiliary (non-traction) own needs of a substation due to the use of recuperation energy and to ensure reception of excess recuperation energy on buses of the DC traction substation.

The peculiarities of storage systems for auxiliary needs of traction substations are the excess of the charge power over the discharge



```

>> A=[-1,0,-1,0;0,0,1,-5;0,1,0,1;0,-1,0,-1];
b=[-1700;0;10000;-500];
Aeq=[1,-0.2,0,0];
beq=0;
lb = [0,0,0,0];
ub = [2000,10000,2000,10000];
a1=30;b2=40;c3=60;d4=80;
x0=[100;1000;100;1000];
fun= @(x)a1*x(1)+b2*x(2)+c3*x(3)+d4*x(4);
nonlcon = @unitdisk;
x=fmincon(fun,x0,A,b,Aeq,beq);
[x,fval,exitflag,output,lambda,grad,hessian] =
fmincon(fun,x0,A,b,Aeq,beq,lb,ub,nonlcon)

```

(18)

Results of solving the problem:

```

x(1) = 0.2693·103
x(2) = 1.3463·103
x(3) = 1.4307·103
x(4) = 0.2861·103
fval = 1.7066e+05
iterations: 12
funcCount: 65
constrviolation: 5.6843e-14
stepsize: 7.2468e-06
algorithm: 'interior-point'
firstorderopt: 2.0000e-06
cgiterations: 0

```

power, the need for a significant increase in energy consumption to limit the depth of discharge when using electrochemical storage devices, short duration of episodes of charging, the average duration of which is about five minutes. These features determine the use of types of storage devices other than electrochemical ones, and the use of hybrid systems capable of fast charging, the depth of discharge of which does not affect the service life.

Two options are proposed for connecting the electric energy storage system to auxiliary needs' consumers of a traction substation, differing in the power of converters.

Based on simulation modelling of operation of storage units of the hybrid storage system, the results of changes in the coefficients of the use of recuperation energy, auxiliary (own) needs of the substation, incl. separately for the storage elements of the system, are obtained.

A mathematical model is proposed that allows, based on the change in the coefficients of the use of recuperation energy and of the energy of auxiliaries at storage elements, to determine capacity and energy consumption of the storage system by the criterion of the cost of the system.

The obtained results of the solution make it possible to evaluate the parameters of a hybrid system for accumulating electricity for auxiliary needs of traction substations on the railway network of Russia and abroad.

REFERENCES

1. Rahman, F., Rehman, S., Abdul-Majeed, M. A. Overview of energy storage systems for storing electricity from renewable energy sources in Saudi Arabia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012, Vol. 16 (1), pp. 274–283. DOI: 10.1016/j.rser.2011.07.153.
2. Beaudin, M., Zareipour, H., Schellenberglabe, A., Rosehart, W. Energy storage for mitigating the variability of renewable electricity sources: An updated review. *Energy for Sustainable Development*, 2010, Vol. 14 (4), pp. 302–314. DOI: 10.1016/j.esd.2010.09.007.
3. Qinglong, Meng; Yang, Li; Xiaoxiao, Ren; Chengyan, Xiong; Wenqiang, Wang; Jiewei, You. A demand-response method to balance electric power-grids via HVAC systems using active energy-storage: Simulation and on-site experiment. *Energy Reports*, 2021, Vol. 7, pp. 762–777. DOI: doi.org/10.1016/j.egy.2021.01.083.
4. Jiang, Shaohan; Li, Yongping; Suo, Cai. IFQP-EPS: Analyzing effects of queuing and storage issues on electric power systems under dual uncertainties. *Resources, Conservation and Recycling*, 2019, Vol. 145, pp. 241–260. DOI: 10.1016/j.resconrec.2019.02.023.
5. Oldenbroek, V., Verhoef, L. A., van Wijk, A. J. M. Fuel cell electric vehicle as a power plant: Fully renewable integrated transport and energy system design and analysis for smart city areas. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2017, Vol. 42 (12), pp. 8166–8196. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2017.01.155.

6. Calise, F., Cappiello, F. L., Carteni, A., Dentice d'Accadia, M., Vicidomini, M. A novel paradigm for a sustainable mobility based on electric vehicles, photovoltaic panels and electric energy storage systems: Case studies for Naples and Salerno (Italy). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019, pp. 111, 97–114. DOI: 10.1016/j.rser.2019.05.022.

7. Fletcher, D. I., Harrison, R. F., Nallaperuma, S. TransEnergy – a tool for energy storage optimization, peak power and energy consumption reduction in DC electric railway systems. *Journal of Energy Storage*, 2020, Vol. 30, 101425. DOI: 10.1016/j.est.2020.101425.

8. Ebadi, R., Yazdankhah, A. S., Mohammadi-Ivatloo, B., Kazemzadeh, R. Coordinated power and train transportation system with transportable battery-based energy storage and demand response: A multi-objective stochastic approach. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 123923. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.123923.

9. Rebrov, I., Kotelnikov, A., Ermolenko, D., Shevlyugin, M. Electric power accumulators in system of supplying railways with traction energy by direct current 2018, TS 2018, MATEC Web of Conferences, 2018, pp. 01057.

10. Buinosov, A. P., Durandin, M. G., Tutynin, O. I. Prospects for the use of electric energy storage units on a multi-unit rolling stock [*Perspektivy ispolzovaniya nakopitelei elektricheskoi energii na motorvagonnom podvizhnom sostave*]. *Bulletin of Ural State University of Railway Transport*, 2020, Iss. 4 (48), pp. 35–45. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44543617>. Last accessed 27.04.2021.

11. Valinsky, O. S., Evstafiev, A. M., Nikitin, V. V. Efficiency of energy exchange processes in traction electric drives with onboard capacitive energy storage devices [*Effektivnost' protsessov energoobmena v tyagovykh elektroprivodakh s bortovymi emkostnyimi nakopitelnyami energii*]. *Elektrotehnika*, 2018, Iss. 10, pp. 10–14. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35671043>. Last accessed 27.04.2021.

12. Cheremisin, V. T., Kondratiev, Yu. V., Privalov, S. Ya. [et al]. Analysis of the possibility of using balanced metering of electricity for traction of trains [*Analiz vozmozhnosti primeneniya saldirovannogo ucheta elektroenergii na tyagu poezdov*]. *Izvestiya PGUPS*, 2008, Iss. 8, pp. 219–232. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11913819>. Last accessed 27.04.2021.

13. Nezevak, V. L., Samolinov, S. S., Khusainov, E. K. Evaluation of the effectiveness of the use of energy storage systems for auxiliary needs of DC traction substations [*Otsenka effektivnosti primeneniya sistem nakopleniya elektroenergii dlya obespecheniya sobstvennykh nuzhd tyagovykh podstantsii postoyannogo toka*]. *Proceedings of IV international scientific and practical conference in the framework of the Scientific and educational forum*. Omsk, 2020, pp. 49–56. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45736176>. Last accessed 27.04.2021.

14. Nezevak, V. L. Influence of threshold voltages of the electric energy storage system on energy indicators of traction power supply [*Vliyaniye porogovykh napryazhenii sistem nakopleniya elektroenergii na energeticheskie pokazateli tyagovogo elektroenergii*]. *Bulletin of Transport of Volga Region*, 2020, Iss. 4 (82), pp. 28–37. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44249610>. Last accessed 27.04.2021.

15. Nezevak, V. L. Determination of the power and energy consumption of electric energy storage systems for

improving the operational indicators of traction power supply [*Opredelenie moschnosti i energoemkosti sistem nakopleniya elektroenergii dlya uluchsheniya ekspluatatsionnykh pokazatelei tyagovogo elektroenergii*]. *Izvestiya Transsiba*, 2020, Iss. 2 (42), pp. 9–25. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-moschnosti-i-energoemkosti-sistem-nakopleniya-elektroenergii-dlya-uluchsheniya-ekspluatatsionnykh-pokazateley-tyagovogo/pdf>. Last accessed 27.04.2021.

16. Shevlyugin, M. V., Golitsyna, A. E., Belov, M. N. [et al]. Improving reliability of power supply for auxiliaries of metro traction substations using energy storage devices [*Povyshenie nadezhnosti elektroenergii sobstvennykh nuzhd tyagovykh podstantsii metropolitena s pomoschyu nakopitelei energii*]. *Elektrotehnika*, 2020, Iss. 9, pp. 26–31. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44000555>. Last accessed 27.04.2021.

17. Nezevak, V. L., Shatokhin, A. P. Features of the traction load for determining the parameters of the electric energy storage device. *World of Transport and Transportation*, 2018, Vol. 16, Iss. 2 (75), pp. 84–94. [Electronic resource]: <https://mirr.elpub.ru/jour/article/view/1436>. Last accessed 27.04.2021.

18. Cheremisin, V. T., Nezevak, V. L. Prospects for the use of energy storage systems on Moscow Central Circle [*Perspektivy primeneniya sistem nakopleniya elektroenergii na Moskovskom tsentralnom koltse*]. *Bulletin of Scientific Research Results*, 2020, Iss. 2, pp. 33–44. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-primeneniya-sistem-nakopleniya-elektroenergii-na-moskovskom-tsentralnom-koltse>. Last accessed 27.04.2021.

19. Nezevak, V., Cheremisin, V., Shatokhin, A. Operating modes of electric energy storage systems on the Moscow Central Ring. E3S Web of Conferences, 2019, Vol. 135, No. 01063. DOI: 10.1051/e3sconf/201913501063.

20. Domanov, K. I., Nezevak, V. L., Shatokhin, A. P. Study of operating modes of the traction power supply system in order to install an electric energy storage device [*Issledovanie rezhimov raboty sistemy tyagovogo elektroenergii na tsentralnom koltse*]. *Izvestiya Transsiba*, 2018, № 2 (34), pp. 65–75. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-rezhimov-raboty-sistemy-tyagovogo-elektrosnabzheniya-v-tselyah-ustanovki-nakopitelnye-elektricheskoy-energii/pdf>. Last accessed 27.04.2021.

21. Nezevak, V., Cheremisin, V., Shatokhin, A. Electric energy storage units applicability assessment of different kinds in the conditions of Moscow central ring. 8th International Scientific Siberian Transport Forum. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2020, Vol. 1115, pp. 42–51. DOI: 10.1007/978-3-030-37916-2.

22. Nezevak, V., Cheremisin, V. Determination of electric energy storage units parameters of direct current traction power supply in conditions of goods traffic dominance. FarEastCon, 2020, Article number 9271611, Category number CFP20M35-ART. Code 165655. DOI: 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271611.

23. Nezevak, V., Cheremisin, V., Shatokhin, A. Assessment of Energy Intensity of the Drive for Traction Power Supply System. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2020, Vol. 982, pp. 524–538. DOI: 10.1007/978-3-030-19756-8_50.

Information about the author:

Nezevak, Vladislav L., Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Railways' Power Supply of Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russia, NezevakWL@mail.ru.

Article received 25.03.2021, approved 15.06.2021, accepted 01.07.2021.





Study on Risk Tolerance of Passenger Car Drivers Aged 18–25



Alexander V. POPOV

Alexander V. Popov

*Volzhsky Polytechnic Institute, a branch of Volgograd State Technical University,
Volzhsky, Russia.*

✉ alexandrus238@yandex.ru

ABSTRACT

A universal problem of the impact of behaviour of less experienced young drivers on the rate of road accidents referring to the Russian Federation in comparison to other countries.

In the Russian Federation, in recent years, there has been a decrease in the total number of road accidents and in the number of deaths in them. This speaks of the effective preventive work of the traffic police and other related services, but at the same time, a fairly large number of car accidents persists.

One problem is the high incidence of accidents among inexperienced young drivers. According to research conducted in different countries, the likelihood of road accidents is especially high during the first year after obtaining a driver's license. The overwhelming majority of drivers responsible for road accidents with less than six months of driving experience belong to the age category of 18–25 years. One of the main reasons for the increased likelihood of road accidents is their excessive risk inclination.

It is obvious that risky driving is common in young people, which also affects the operation of the car. Risk inclination is directly

related to the number of errors made, which significantly increases the likelihood of an accident.

Objective of the work was to assess the risk tolerance among drivers aged 18–25 years. Research methods comprise a survey of young people of the indicated age and the analysis of the results obtained. The figures obtained during the survey indicate that the majority of respondents (82 %) have a «mean level of risk tolerance». But there are also quite a few «risky drivers» (15 %). Moreover, these 15 % are in the youngest age group from 18 to 21 years old.

Based on the results of the work, it is proposed: during training at a driving school, the future driver should receive not only theoretical knowledge and practical driving lessons, but also undergo a psychological analysis to determine his fitness to participate in road traffic; introduce certain restrictions «for young and novice drivers» into the Road Traffic Regulations. It is necessary to limit the permitted power of the car and the permissible speed (adoption of a multiplying coefficient for fines for speeding), prohibit the use of the car in the dark and in difficult road conditions, as well as passenger transportation.

Keywords: road traffic accident, driver, risk tolerance, risk inclination, test, accident rate, driver behaviour, young driver, traffic safety.

For citation: Popov, A. V. Study on Risk Tolerance of Passenger Car Drivers Aged 18–25. World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 3 (94), pp. 238–244. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-10>.

**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 level of motorisation in Russia is increasing every year. If in 2016 the number of registered passenger cars owned by citizens in the Russian Federation was 43 million units, then as of January 1, 2021, this figure has increased to about 45 million, which is about 76 % of the total number of registered vehicles. Commercial cars account for 7,1 % of the total volume, the trucks account for about 6,4 %, and about 0,7 % of the Russian fleet belong to buses¹. The problem of a large number of accidents on Russian roads is still relevant. Although over the past few years, there was a clear decrease in the number of accidents and deaths in them, which indicates the competent preventive work of the traffic police and other services [1, p. 52]. The mortality rate in road traffic accidents in the Russian Federation is 11,5 cases per 100 thousand of the population². In the safest countries in terms of road safety in Europe (Great Britain, the Netherlands, Switzerland), this figure is about three cases per 100 thousand population [2, p. 4].

At the same time, in recent years, the number of young and inexperienced drivers in the age group from 18 to 25 has been growing. They often become the culprits of road accidents. In 2020, such drivers committed 17753 accidents³ (Pic. 1).

Studies that are regularly conducted in developed countries confirm that the risk of an accident during the first year after obtaining a driver's license is especially high [3, p. 89]. According to these studies, it is possible to identify factors that clearly increase this risk: driving style and technical condition of the car; psychological characteristics (for example, thirst for thrills and too high self-confidence); increased (in comparison with older people) influence of alcohol [3]. Overspeeding or mismatching the speed limit of the overall speed of the traffic flow [3] is the most common violation among inexperienced drivers. Also, the cause

of serious accidents for such drivers is «driving in the dark» [3].

The overwhelming majority of those responsible for accidents with up to six months of driving experience belong to the youngest category³. For example, in the city of Volzhsky, Volgograd region (population about 324 thousand), from 2013 to 2019 the share of road accidents committed by inexperienced young drivers varied from 15 to 37 % (Pic. 2). According to foreign studies, young drivers become victims of accidents more often than older drivers [4].

Road accidents fatality is one of the most common causes of death among young people. Controlling a complex mechanism like a car is not an easy task. And the car itself is known to be dangerous. Therefore, every person who decides to get behind the wheel must understand that he is responsible not only for himself, but also for those around him. The irreparable consequences of accidents in which young and inexperienced drivers are to blame, and their number, have induced researchers to pay attention to the factors leading to such road accidents.

As a result of such studies, conducted, for example, in New Zealand, several factors have been identified that increase the risk of death from road traffic accidents: deliberate speeding; non-use of passenger restraints; alcohol consumption. One of the main reasons is the increased risk appetite of young drivers [5]. The propensity to take risks depends «on age and can significantly affect the operating conditions of the vehicle» [5]. Risky driving is directly related to the number of errors made, which, of course, significantly increases the likelihood of an accident. This behaviour is «common» among young drivers [6]. The degree of high risk appetite is due to youth and inexperience.

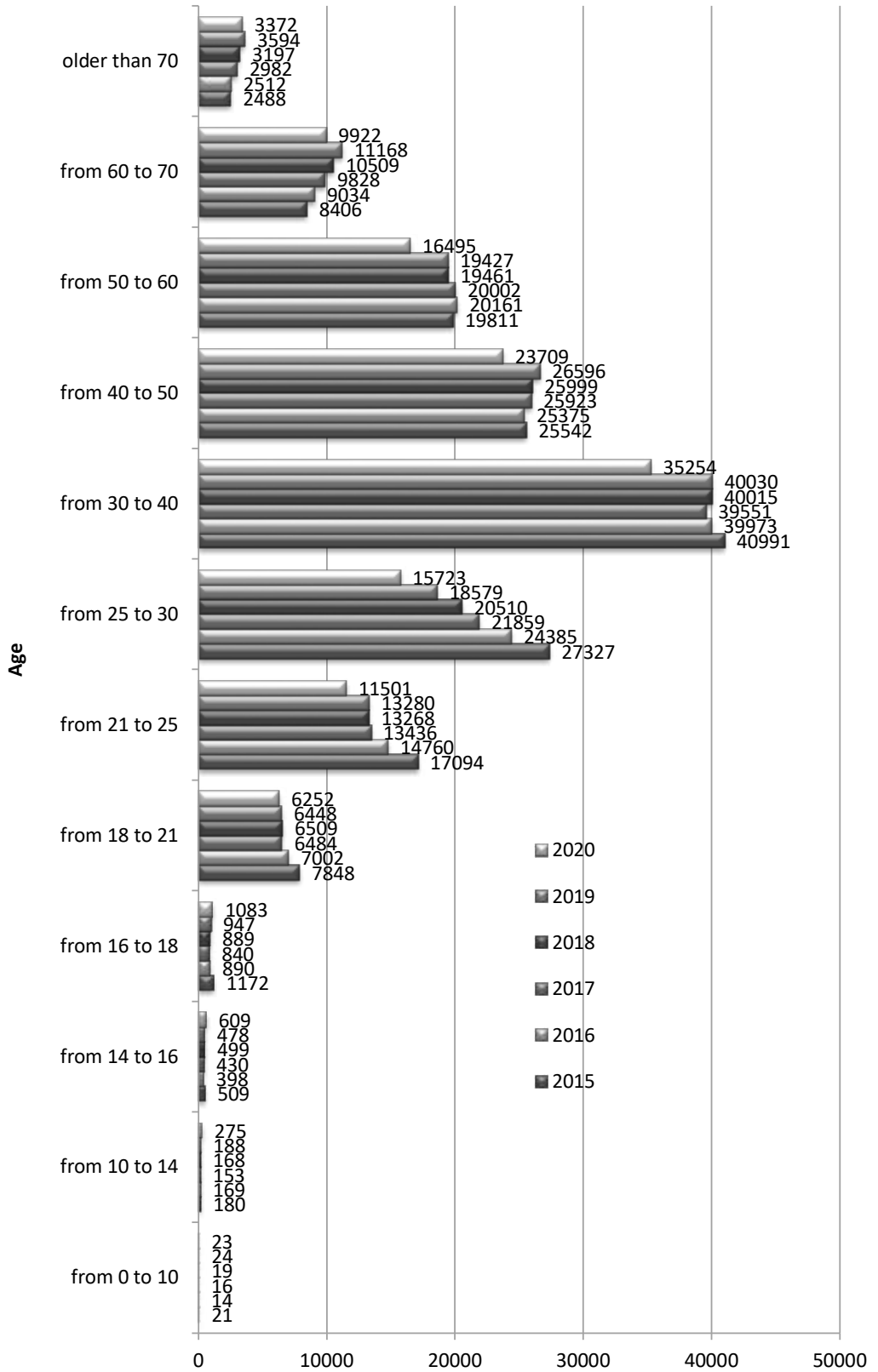
Besides, for young drivers, the level of risk has an exponential relationship with the number of passengers. «Drivers aged 18–25 show a particular disregard for the rules, trying to realise their thirst for «thrills» and self-confidence» [3, p. 89; 7]. «Young people can be more risky than adults. They are more susceptible to the influence of their peers who are equally inclined to risk» [8; 9]. Although young drivers themselves deny that «peers affect traffic safety» [8; 9], the researchers noted that they provided «hidden social

¹ Structure of vehicle fleet in Russia. January 2021. [Electronic resource]: <https://universeofcars.ru/skolko-mashin-v-rossii/>. Last accessed 11.03.2021.

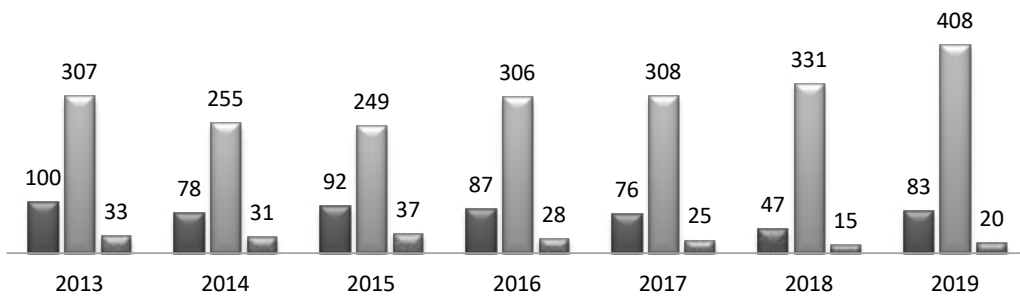
² Number of people, died in road accidents per 100 thousand of the population. [Electronic resource]: <https://www.fedstat.ru/indicator/36230>. Last accessed 20.10.2020.

³ Indicators of the state of road safety. [Electronic resource]: <http://stat.gibdd.ru/>. Last accessed 10.03.2021.





Pic. 1. Distribution of drivers responsible for road accidents per age group over the past six years in the Russian Federation (compiled by the author based on²).



Pic. 2. The number of accidents where drivers of 0–5 years of experience became the culprits, in the city of Volzhsky (compiled by the author).

approval of unsafe and risky driving» [10; 11].

That is why, since the 80s of the last century, in many countries there has been a «stage-by-stage admission of persons to drive a vehicle» [3]. For example, such rules have long been in force in Canada and the United States, which provide for gradual access to obtaining a full-fledged driver's license for novice drivers who drive cars and two-wheeled vehicles. Such restrictions were introduced to reduce the very likelihood of an accident (to which beginners, inexperienced drivers are exposed [3; 12]) due to the period of a sort of internship, during which a novice driver undergoes a special practical driving course under the guidance of a mentor, an instructor. The system might be called the «period of internship with the award of the right to drive under the guidance of a mentor» [3; 12–15]. Upon completion of the internship, the future driver receives a temporary license, which provides for certain restrictions on driving without a mentor. Typically, these restrictions include «a ban on driving at night, a restriction on the number of passengers who can be in the car, and a ban on driving after drinking any amount of alcohol, even if the rules stipulate an acceptable level of alcohol in the blood or breath air». As young drivers acquire the necessary experience and upon reaching the established age, all these restrictions are removed, and they receive a full-fledged certificate. The conditions for passing these three stages of obtaining a driver's license – student, temporary and standard – differ in different countries, but everywhere they are the basis for creating a favourable environment while novice

drivers receive the necessary experience. The above measures have long been proven effective. Studies in Canada, New Zealand and the United States have shown that the number of accidents by novice drivers decreased by 9–43 %. Since an increased level of risk of accidents among novice drivers is observed in all countries, the system of phased obtaining of a standard driver's license can significantly reduce this risk [3, p. 128; 12–15].

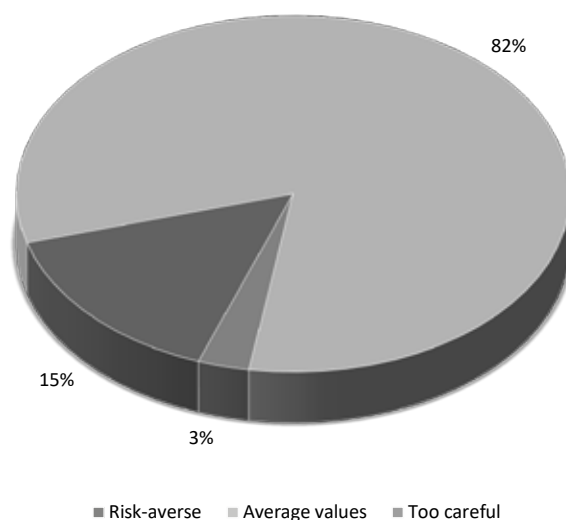
The *objective* of the work was to determine the percentage of «risk-inclined drivers» [16; 17] in the age group from 18 to 25 years old. Research *method* was a survey, as a result of which 200 young students of Volgograd State Technical University (VSTU) and Volzhsky Polytechnic Institute (branch of VSTU) were interviewed (January 2016–February 2020). All participants at the time of the survey had a driver's license and used a personal car. The questionnaire survey was based on A. M. Schubert test «Risk appetite» [16; 17].

RESULTS

The respondents were asked to answer the following questions:

1. Would you exceed the set speed to quickly provide the necessary medical assistance to a seriously ill person?
2. Would you agree to participate in a dangerous and long expedition for the sake of good money?
3. Would you stand in the way of an escaping dangerous burglar?
4. Could you ride on the footboard of a freight wagon at speed over 100 km/h?
5. Can you normally work the next day after a sleepless night?





Pic. 3. General results of the study of risk inclination among drivers aged 18–25 years (compiled by the author).

6. Would you be the first to cross a very cold river?

7. Would you lend a large amount of money to a friend, being not entirely sure that he will be able to return this money to you?

8. Would you, along with the tamer, enter the cage with lions when he assured you that it was safe?

9. Could you, under the guidance of the outside, climb a tall factory chimney?

10. Could you sail a sailboat without training?

11. Would you risk grabbing a running horse by the bridle?

12. Could you ride a bike after drinking ten glasses of beer?

13. Could you do a parachute jump?

14. Could you, if necessary, travel without a ticket from Tallinn to Moscow?

15. Could you make a car trip if your acquaintance, who recently was a participant in a serious road traffic accident, was driving?

16. Could you jump from a ten-meter height onto the fire brigade's tent?

17. Could you, to get rid of a lingering illness with bed rest, undergo a life-threatening operation?

18. Could you jump off the steps of a freight train traveling at a speed of 50 km/h?

19. Could you, as an exception, take seven other people in an elevator designed for only six?

20. Could you cross a busy street intersection blindfolded for a large sum of money?

21. Would you take on a life-threatening job if you paid well for it?

22. Could you calculate the percentage after drinking ten shot glasses of vodka?

23. Could you, following instruction of the chief, take up the high-voltage wire, if he assured that the wire is de-energised?

24. After some preliminary explanations, could you fly the helicopter?

25. Could you, having tickets on hand, but without money and food, go from Moscow to Khabarovsk?⁴

The test includes the following gradation: «too careful, mean, risk-averse». The majority of survey participants (82 %) showed a mean level of «risk appetite», but the number of drivers with a «high risk appetite» is quite large (15 %) (Pic. 3). Moreover, all 15 % of those «inclined to risk» belong to the youngest group from 18 to 21 years old [18].

It will be interesting to consider the distribution of answers to each of the questions offered to drivers. According to the diagram (Pic. 4), the distribution of answers is fairly even, in 15 out of 25 questions the

⁴ Methodology for diagnosing the degree of risk readiness by Schubert. [Electronic resource]: <https://psylist.net/praktikum/38.htm>. Last accessed 12.03.2021.

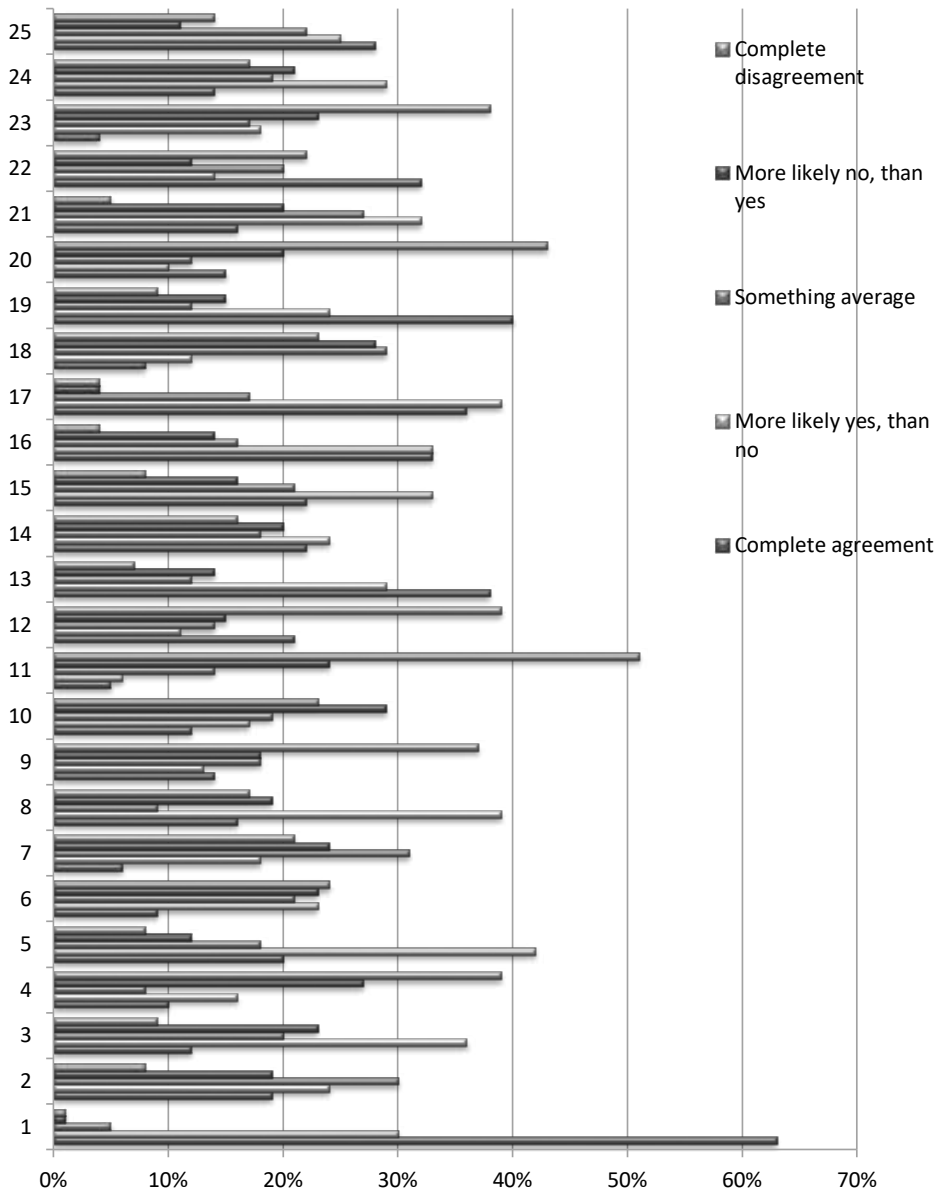


Fig. 4. Distribution of answers to the test questions (compiled by the author).

share of answers «More likely no than yes» and «Complete disagreement» does not exceed 40 %.

Thus, the data obtained indicate that the number of young drivers inclined to risk is quite large (15 %). Risky driving, along with «the widespread among young people idea of their superiority in performance and reaction speed, knowledge of the car» [3; 12], becomes the cause of road accidents, including those with the dead and wounded.

CONCLUSIONS AND SUGGESTIONS

From practical perspective, some conclusions can be highlighted, and some suggestions can be developed to increase road safety in Russian Federation.

The President of the Russian Federation approved a number of instructions following an expanded meeting of the Presidium of the State Council, held on September 28, 2020, «according to which, within the framework of the implementation of the national project



«Safe and High-Quality Highways», the death rate in road accidents by 2024 should be 8,4 per 100 thousand of the population, and by 2030 – 4 per 100 thousand of the population»⁵.

For the fastest achievement of the established indicators, considering the research results presented in the work, the following measures might be proposed:

1. To adopt practices of analysing the psychological qualities of a student at a driving school to determine his fitness to participate in road traffic. Based on the results of such an analysis, it will be possible to inform the future driver about his potentially dangerous qualities and suggest possible options for their containment and control.

2. To secure in the Traffic Regulations some restrictions on driving a car for inexperienced and young drivers. It is necessary to set a limitation on the power of the car and the permissible speed of movement, by introducing a multiplying coefficient for fines for speeding; a ban on passenger transportation before the expiration of a certain period of driving; driving in the dark, in difficult road conditions.

REFERENCES

1. Popov, A. V. Road traffic accidents. High accident rate problems in the Russian Federation: Monograph [*Dorozhno-transportnie proisshestviya. Problemy vysokoi avariinosti v Rossiiskoi Federatsii: Monografiya*]; VPI (branch) FSBEI HE VSTU. Volgograd, 2020, 273 p.

2. Global status report on road safety 2018. Geneva: World Health Organization, 2018. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. [Electronic resource]: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565684>. Last accessed 10.03.2021.

3. World report on road traffic injury prevention. Transl. from English. Moscow, Ves Mir Publishing House, 2004, 280 p.

4. Besharati, M. M., Tavakoli Kashani, A. Factors contributing to intercity commercial bus drivers' crash involvement risk. *Archives of Environmental & Occupational Health*, 2017, Vol. 73, Iss. 4, pp. 243–250. DOI: 10.1080/19338244.2017.1306478.

5. Fergusson, D., Swain-Campbell, N., Horwood, J. Risky driving behaviour in young people: prevalence, personal characteristics and traffic accidents. *Australian and New Zealand Journal of Public Health*, 2003, Vol. 27, Iss. 3, pp. 337–342. DOI: 10.1111/j.1467-842x.2003.tb00404.x.

⁵ Expanded meeting of the Presidium of the State Council. [Electronic resource]: <http://www.kremlin.ru/events/state-council/64105>. Last accessed 10.03.2021.

6. Jonah, B. A. Accident risk and risk-taking behaviour among young drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 1986, Vol. 18, Iss. 4, pp. 255–71. DOI: 10.1016/0001-4575(86)90041-2.

7. Williams, A. F. Teenage drivers: patterns of risk. *Journal of Safety Research*, 2003, Vol. 34, Iss. 1, pp. 5–15. DOI: 10.1016/S0022-4375(02)00075-0.

8. Gardner, M., Steinberg, L. Peer Influence on Risk Taking, Risk Preference, and Risky Decision Making in Adolescence and Adulthood: An Experimental Study. *Developmental Psychology*, 2005, Vol. 41 (4), pp. 625–635. DOI: 10.1037/0012-1649.41.4.625.

9. Steinberg, L. Risk taking in adolescence: What changes, and why? *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2004, Vol. 1021 (1), pp. 51–58. DOI: 10.1196/annals.1308.005.

10. Hu, Tian-Yi; Xie, Xiaofei; Li, Jie. Negative or positive? The effect of emotion and mood on risky driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2013, Vol. 16, pp. 29–40. DOI: 10.1016/j.trf.2012.08.009.

11. Dula, C. S., Ballard, M. E. Development and Evaluation of a Measure of Dangerous, Aggressive, Negative Emotional, and Risky Driving. *Journal of Applied Social Psychology*, 2003, Vol. 33, Iss. 2, pp. 263–282. DOI: 10.1111/j.1559-1816.2003.tb01896.x.

12. Williams, A. F. An Assessment of Graduated Licensing Legislation. In: Proceedings of the 47th Association for the Advancement of Automotive Medicine (AAAM) conference, Lisbon, Portugal, 22–24 September 2003. Washington, DC, Annual proceedings / Association for the Advancement of Automotive Medicine. Association for the Advancement of Automotive Medicine, 2003, Vol. 47, pp. 533–535. [Electronic resource]: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3217529/>. Last accessed 10.03.2021.

13. Williams, A. F., Ferguson, S. A. Rationale for graduated licensing and the risks it should address. *Injury Prevention*, 2002, Vol. 8, pp. 9–16. DOI: 10.1136/ip.8.suppl_2.ii9.

14. Shope, J. T., Molnar, L. J. Graduated driver licensing in the United States: evaluation results from the early programs. *Journal of Safety Research*, 2003, Vol. 34, Iss. 1, pp. 63–69. DOI: 10.1016/S0022-4375(02)00080-4.

15. West, R., Hall, J. The Role of Personality and Attitudes in Traffic Accident Risk. *Applied Psychology*, 2008, Vol. 46, Iss. 3, pp. 253–264. [Electronic resource]: <https://iaap-journals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1464-0597.1997.tb01229.x>. Last accessed 10.03.2021. DOI: 10.1111/j.1464-0597.1997.tb01229.x.

16. Zhirkov, R. A., Kubdasheva, N. K. Drivers risk inclination [*Sklonnost k risku voditelei*]. *Bulletin of Volgograd State Technical University. Series: Ground transportation systems*, 2012, Vol. 5, Iss. 2 (89), pp. 62–64. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17357332>. Last accessed 10.03.2021.

17. Neklyudova, V. V. Inclination to risk as a factor in formation of a driver's behavior model [*Sklonnost k risku kak faktor formirovaniya modeli povedeniya voditelya*]. *Problemy sovremennogo pedagogicheskogo obrazovaniya*, 2017, Iss. 57-5, pp. 356–362. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30754180>. Last accessed 10.03.2021.

18. Popov, A. V., Goncharevich, D. V., Sokolov, R. O. Problems of youth accidents [*Problemy molodezhnoi avariinosti*]. *Avtotransportnoe predpriyatie*, 2016, Iss. 5, pp. 14–17. ●

Information about the author:

Popov, Alexander V., Senior Lecturer at the Department of Road Transport of Volzhsky Polytechnic Institute, branch of Volgograd State Technical University, Volzhsky, Russia, alexandrus238@yandex.ru.

Article received 29.10.2020, approved 15.02.2021, accepted 13.03.2021.



**125TH ANNIVERSARY
OF RUSSIAN
UNIVERSITY
OF TRANSPORT 246, 256**

Inseparable relationship of education, training, research, and science. The pages of the history of the University appraised through the prism of development of schools of sciences.

Mathematical knowledge for future transport employees: time-honoured names of scientists who taught at the University.



HRM, EDUCATION & TRAINING





At the Forefront of Transport Education and Industrial Science in Russia: the 125th Anniversary of Russian University of Transport



Alexey V. FEDYAKIN



Sergey V. MEDVEDEV



Anastasia V. TANTSEVOVA

Alexey V. Fedyakin¹, Sergey V. Medvedev², Anastasia V. Tantsevova³

^{1, 2, 3} Russian University of Transport, Moscow, Russia.

✉ ¹ avf2010@yandex.ru.

ABSTRACT

The article is dedicated to the 125th anniversary of the founding of Russian University of Transport (MIIT), the largest transport university in the country. Over the years of its existence, the University has gone from an engineering school to a national-wide transport university, a leading center for science and education.

The history of the University is examined through the prism of formation and development of schools of sciences. The University established world-known schools of sciences of structural mechanics and bridge construction, hydraulic theory of friction,

bridge construction and welding, structural mechanics, design and operation of railways, design and thermal calculations of steam locomotives, etc.

Over the years, the University has trained many tens of thousands of highly qualified specialists for the transport industry of the country. Loyalty to traditions, the ability to respond to demands of the time and work for the future allow Russian University of Transport to remain in the ranks of the leading universities in Russia.

Keywords: Russian University of Transport, transport science, school of science, research and educational centers, traditions and innovations, training of personnel for the transport industry.

For citation: Fedyakin, A. V., Medvedev, S. V., Tantsevova, A. V. At the Forefront of Transport Education and Industrial Science in Russia: the 125th Anniversary of Russian University of Transport. *World of Transport and Transportation*, 2021, Vol. 19, Iss. 3 (94), pp. 246–255. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-11>.

**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

Russian University of Transport is a university with more than a century of history. For 125 years, the university has overcome the distance from an engineering school to a national transport university. The anniversary of the University is another reason to remember its history, evaluate the past, pay tribute to the merits of its Professors, teachers, and students, comprehend the current development, outline plans for the future. Over the past years, a number of world-class schools of science have been created at the University, which determined the directions for development of the transport industry and science in the country.

IMPERIAL MOSCOW ENGINEERING SCHOOL: THE BEGINNING OF THE PATH

At the end of 19th century, railway construction was going on at an active pace in the Russian Empire; the largest railway in the world, the Trans-Siberian Railway, was under construction. There was an acute shortage of engineers and railway transport specialists. The issue arose about the opening of a new large educational institution of the transport industry. Nikolai Pavlovich Petrov (1836–1920), an outstanding scientist, comrade of the Minister of Railways (Deputy Minister), is rightfully considered the ideologist of the establishment of Moscow Engineering School. It was he, being the chairman of the Russian Technical Society, who made a lot of efforts to expand technical education in Russia [1, p. 246].

On May 23 (June 4¹), 1896, Moscow Engineering School was established with a three-year training program. The next day, May 24, the school received the name of Imperial Moscow Engineering School (IMIU). In 1912, at the suggestion of the educational department of Ministry of Railways, a project started aimed at transforming Imperial Moscow Engineering School into an institute. The law was signed on June 13, 1913, and on September 1, 1913, the school was transformed into Moscow Institute of Railway Engineers (MIIPS). On December 27, 1913 MIIPS was named after Emperor Nicholas II.

The history of the University is inextricably linked with the history of the country and with development of transport science. At all historical stages, the life of the University was multifaceted

¹ Here and further two dates indicate old style Julian calendar applied in Russia before 1917 and modern calendar.

and eventful. Since its inception, the University has become not only a leading center for higher education in railways, but also a major scientific center. The world known schools of sciences were established here: those of structural mechanics and bridge building (Professor L. D. Proskuryakov), hydraulic theory of friction (Professor N. P. Petrov), bridge building and welding (academicians E. O. Paton and G. K. Evgrafov), structural mechanics (Professor I. P. Prokofiev), design and operation of railways (Academician V. N. Obratsov, Corresponding Member of the USSR Academy of Sciences B. N. Syromyatnikov), dynamics of locomotives (Corresponding Member of the USSR Academy of Sciences I. I. Nikolaev, Professor V. B. Medel), traction of trains and traction calculations (Professor A. M. Babichkov), etc.

The first schools of science began to appear in the IMIU along with creation of the first departments and laboratories. Already on March 1, 1898, IMIU allocated funds for organisation of the first laboratories (chemical, mechanical, hydraulic, physical laboratories), as well as for creation of a geodesic «cabinet» (office) [2, p. 531].

The school of structural mechanics and bridge building was headed by Professor L. D. Proskuryakov, who stood at the foundations of the national science of bridges. In bridge construction, L. D. Proskuryakov created fundamentally new types of spans, with a through, statically definable lattice. Lavr Proskuryakov designed the longest girder-section railway bridge in Russia across the river Yenisei, which became the only engineering structure of the Transsiberian Railroad that was awarded the Grand Prix and the Great Gold Medal of the World Exhibition in Paris (1900).

L. D. Proskuryakov began working at IMIU from the moment of its opening, from November 1896 he was inspector (vice-rector), head of the department «Building mechanics and bridges». During the 1897–1898 academic year, a mechanical laboratory was opened at the school. Professor L. D. Proskuryakov was its permanent head until 1926. The laboratory had a machine room, a cement hall, a metallographic room, a refrigeration room, a mechanical workshop, a woodworking workshop, etc. From the very foundation, the laboratory was equipped with a number of testing machines and devices: «Mohr and Federgaff machine, for 50 tons, for testing metals, cables, chains, tension belts;



Amsler press of 150 tons, to study the phenomenon of bending (transverse and longitudinal) and compression; Amsler press for 25 tons and 190 km, to study the phenomena of stretching and torsion of metals», and others [2, p. 67].

In the Mechanical Laboratory, classes were conducted with students on the study of various properties of building materials. Since 1898, L. D. Proskuryakov began to teach the course «Structural Mechanics», thereby laying the foundation for the methodology of teaching this discipline. After 1917, the course began to be taught in all areas of training in engineering universities of the country.

Since the opening of the laboratory, scientific research had been carried out on the problems of building materials and structural mechanics. Already from the beginning of the 1920s the institute's mechanical laboratory has built close ties with the country's transport and manufacturing industries. During this period, its research base also expanded, the laboratory of building materials of the Higher Technical Courses of NKPS [ministry of railways of the time] was attached [2, p. 71]. In the mid-1920s the Scientific Council was established at the laboratory. In 1927, the Mechanical Laboratory presented the results of its work at the International Congress of Materials Testing in the Netherlands.

Since 1901, the department of bridges was headed by Evgeny O. Paton. After having worked at IMIU till 1904, E. Paton, later on an Academician, further received international recognition as an outstanding scientist in the field of bridge construction and electric welding, founded the institute of electric welding bearing his name [3, p. 89]. After 1917, the academic staff of the Bridges department carried out research work within the sections of materials and structures, studying the resistance of wood to chipping (supervisor – Professor E. L. Nikolai), determining weight loss of stone supports in water (supervisor – Professor E. E. Gersevanov).

A significant achievement in the field of engineering sciences was associated with development of a scientifically grounded theory of design of railway stations and junctions [4, p. 92]. The specialised department «Stations and junctions» under the leadership of Professor V. N. Obraztsov was created at MIIPS in 1919. The employees of the department were engaged in studying practical aspects of designing stations and junctions.

TOWARDS NEW UNIVERSITY: MIIT

In 1924, by order of the People's Commissariat for Education of the RSFSR No. 570, the Higher Technical Courses at the People's Commissariat for Railways of the RSFSR were attached to Moscow Institute of Railway Engineers. The united higher educational institution received the name of Moscow Institute of Transport Engineers (MIIT). Since that time, the educational institution has become a multi-faculty and graduated engineers of various specialties for railway, water, and road transport.

In the same year, within the walls of MIIT, the department «Research and design of railways» was created. Professor K. A. Opeengeim, the author of the country's first four-volume textbook on the course of railway design, was elected as the head of the department. The creation of the department played an important role not only in training of engineering personnel, but also in development of scientific design of railways. Major scientists worked at the department: Professor A. V. Gorinov developed the theory of mastering transportation, Professor B. N. Bedenisov worked in design of the layout of railways [5, p. 95].

In the 1920s the school of bridge construction continued to actively develop its activity at the University. Academician of the USSR Academy of Sciences G. P. Perederiy made a great contribution to its development. He proposed a new teaching system in which the bridge was studied as a complex structure. The introduction of a new progressive methodology for teaching the course of bridges, contributed to approval of a new design method, which, in turn, was a powerful means of introducing more rational bridge systems [5, p. 95].

Under the leadership of N. S. Streletsky, bridge testing stations were organised, which began a systematic study of the static and dynamic effects of loading on bridges. In the 1930s reinforced concrete began to be used in bridge building. One of the first initiators of the use of this type of material in bridge construction was Academician of the USSR Academy of Sciences G. P. Perederiy.

In November 1925, a research institute was opened at MIIT, one of the country's first research institutes within higher technical educational institutions. Its tasks comprised research in the field of transport and training of scientific personnel for railway universities. The institute was headed by Professor F. E. Maksimenko.

Postgraduate studies were opened at the research institute, which contributed to more intensive scientific work in the field of railway topics. Since 1926, MIIT has resumed publication of scientific works of the institute.

By the end of the 1920s MIIT becomes the leading centre for training engineering personnel for railway transport in the country. For the period 1918–1927 MIIT trained 1553 engineers, 502 specialists more than in two pre-revolutionary decades [4].

In the 1930s the university was a forge of personnel for transport and a major scientific centre. In 1930, the department «Bridges and Tunnels» was headed by the Honoured Employee of Science and Technology of the RSFSR Professor G. K. Evgrafov. With his participation, science schools were created that have received international recognition: in the field of calculations, design and construction of bridges; in the field of research of reinforced concrete and metal bridges [6, p. 75]. In 1931–1934 he supervised the work on identifying new types of bridge structures, studying the work of bridges under load, establishing standards for construction of bridges [6, p. 106].

The school of bridge building also continued to develop. Scientists of the Bridges department conducted theoretical and experimental research in the field of studying bridge structures. In 1930–1932 according to the project of MIIT graduate engineer N. M. Kolokolov, a railway bridge was built across the river Dnieper in Dnepropetrovsk [6, pp. 103–104]. In the same period, the construction of first welded bridges began.

In 1932, the laboratory of soil mechanics was created, due to which theoretical problems were successfully solved along with practical aspects related to construction of powerful hydroelectric stations and metro. The first domestic tunnel shield was designed under the guidance of MIIT Associate Professor V. P. Volkov [7, p. 1]. Contributions to development of the theory of engineering problems in the field of soil mechanics, foundations of structures and foundations were made by Professors E. E. Gersevanov and V. K. Dmikhovskiy.

In 1934, at the departments of the institute, the first scientific communities (called «circles») were created, later united into a student scientific society. This was the time of beginning of development of student science at MIIT. The students at the institute were directly involved in

construction of Moscow metro. In 1933, the Bridgebuilding faculty and the graduating department of tunnels and metro were created, which two years before the launch of the first metro line in Moscow began to train specialists for the metro [8, p. 35]. Under the leadership of the first MIIT graduates, 29 metro stations were built in Moscow.

Academician V. N. Obraztsov and Professor S. V. Zemblinov continued their scientific research at the department of stations and junctions. Published in 1933, V. N. Obraztsov's major work «Railway stations» became the scientific basis for a whole series of textbooks on the discipline «Stations and junctions»: Part I, 1935 (authors – V. N. Obraztsov, V. D. Nikitin, S. P. Buzanov), part II, 1938 (authors – V. N. Obraztsov, V. D. Nikitin, M. V. Senkovskiy, N. R. Yushchenko), and part III, 1949 (authors – V. N. Obraztsov, V. D. Nikitin, F. I. Shaulskiy, S. P. Buzanov) [9]. At the department, the main topic of research referred to design, technology of functioning and optimisation of transport systems. In 1938, under the leadership of V. N. Obraztsov, the school «Design, technology of functioning and optimization of operation of transport systems» was founded. In 1939, a Section for Scientific Development of Transport Problems of the Academy of Sciences of the USSR was created at the department under the leadership of Academician V. N. Obraztsov. An important role in development of science about stations was made by the students of Academician V. N. Obraztsov: D.Sc. (Eng), Professors S. P. Buzanov, F. I. Shaulskiy, who trained a large number of doctors and candidates of engineering sciences. The ideas of Obraztsov's scientific school were successfully implemented by their students: D.Sc. (Eng) V. A. Sharov, A. T. Osminin, B. B. Zhardemov and others [10].

Scientific research was also actively conducted at the department of track and track economy (from 1920 to 1930 it was called «Rail track», in 1930 it was renamed into «Railway track», in 1950 it received the name «Track and track economy»). Professors N. T. Mityushin, K. N. Mishchenko, B. N. Vedenisov, G. M. Shakhunyanets studied the working conditions of track under large weights and at high speeds; the use of a continuous track and long rails; calculations of the roadbed.

With the beginning of the Great Patriotic War, a group was formed from the teachers of the department of railway track, which worked at the





Central Track Administration of NKPS and was responsible for creating projects to restore destroyed bridges. Professor I. N. Polikarpov was sent to the Western Front, where he worked on construction of bridges destroyed by German troops. From 1942 to 1943, he served as Senior Bridge Expert at the General Directorate of Military Reconstruction. He proposed projects of metal multi-lattice trusses with I-beams, which later began to be used in restoration of bridges. From 1941 to 1942, Associate Professor A. M. Pomerantsev was sent to the head restoration detachment No. 8 of the Western Front, then worked in the design group of the track service of the Western Railway, where he was engaged in design of capital restoration of railway bridges.

In 1941, a commission was created to mobilise the resources of the Urals and Western Siberia, which included Academician V. N. Obratsov. Under the leadership of Vladimir Nikolaevich, a unified technological process for operation of transport on access roads of the defence industry was developed, which made the work of factories of 11 railways stable. Academician Obratsov also dealt with the problem of increasing the volume of cargo transportation with minimal financial investment. He concluded that the use of double trains, block train traffic, a decrease in time serving as passing sidings or crossing loops, a decrease in idle time of trains at intermediate points by placing baton apparatus to entrance posts together can contribute to an increase in traffic volumes. By

the decree of the Presidium of the Supreme Soviet of the USSR of July 30, 1949, Professor of MIIT Academician V. N. Obratsov and Corresponding Member of the USSR Academy of Sciences B. N. Vedenisov were awarded the Order of Lenin [11, p. 1].

From 1941 to 1943, MIIT Professor A. V. Gorinov was appointed head of the All-Union Scientific Research Institute of Railway Transport, which was entrusted with the task of preparing the most important scientific projects related to the defence complex. Professor G. K. Evgrafov took part in solving the problems of examining bridges not only newly built during the war, but also restored after destruction. He was appointed permanent consultant at the All-Union Scientific Research Institute of Railway Transport on development of bridge restoration projects.

During the Great Patriotic War, the scientific and pedagogical staff of the Locomotives department headed by Academician S. P. Syromyatnikov developed methods of increasing the efficiency of steam locomotives. Academician Syromyatnikov created a new steam locomotive 1-5-0, carried out a comprehensive modernisation of locomotives of E and O series, which made it possible to reduce fuel consumption on the country's railways [12, p. 54].

Under the guidance of Professors N. T. Mityushin and G. M. Shakhnyants the track employees made a significant contribution to increase the capacity, organise maintenance

and repair of the track in difficult wartime conditions. Professor P. S. Durnovo developed and implemented the possibility of repairing turnouts by surfacing the crosspieces.

Since 1945, additional laboratories began to be organised at MIIT; research activity of the institute moved to a new level, not only the number, but also significance of scientific research increased.

In the year of the 50th anniversary of creation of MIIT, on December 26, 1946, the University received the highest state award, the Order of Lenin.

In 1946, the bridge testing station was transferred to MIIT, which was transformed into a bridge testing laboratory. On its basis, Bridges department conducted research. The work was carried out in two directions: in the field of prefabricated reinforced concrete bridges, predominantly prestressed, and in the field of welding in bridge construction [5, p. 110].

In 1947, a student scientific and technical society was organised at the institute. Its scientific advisor was D.Sc. (Eng) V. D. Nikitin [13, p. 12]. During the first post-war decade, 253 research projects were carried out at the departments of the institute. The research results were provided to the departments of the USSR Ministry of Railways.

From 1946 to 1957 MIIT faculty published 61 textbooks, 420 articles, individual books and monographs. Textbooks were used for training in the People's Republic of China and Eastern European countries. Scientific works of D.Sc. (Eng), Professors A. M. Babichkov, V. N. Ivanov, V. G. Kirkin, N. P. Zobnin, A. N. Egorov, G. P. Grinevich, V. D. Nikitin, S. P. Buzanova, S. K. Danilova, E. V. Mikhaltseva, F. P. Kochneva, N. A. Shadrina, A. V. Gorinov, G. M. Shakhunyants, V. G. Albrekht and others received scientific recognition in the USSR [5, pp. 99–100].

In the post-war period, the institute actively developed research in the field of wagons and wagon facilities. The research team of the Wagon department carried out research on car bogies in order to reduce their weight (Associate Professor L. A. Shadur), the centre beam of the wagon (Associate Professor V. M. Chernyshev), in the field of organisation of wagon facilities (Associate Professor V. D. Bekhterev) [5, p. 97].

Over time, issues related to wide transition of railway transport to electric traction acquired great importance in the research of the institute. With the aim of increasing the economic

efficiency of electrification of railways, a laboratory for power supply of railways was created in 1947. In 1948, a mobile research laboratory «Dynamometric wagon» was organised at the department of electric traction, which since 1930 had been preparing electricians for railway transport.

In 1956, the scientific school «Electrical engineering complexes and systems» was founded at the University, which developed in two directions. Under the leadership of D.Sc. (Eng), Professor, Honoured Employee of science and technology industry of the RSFSR I. P. Isaev, the energy processes of interaction between rolling stock and tracks, ensuring reliability, and optimising the system of scheduled preventive maintenance were fundamentally studied. Under the leadership of Professor K. G. Markvardt, systems, technical means, methods of increasing reliability and efficiency of electric traction power supply devices, and introduction of comprehensive automation of power supply and electric power devices were developed and improved. Scientists of the institute made important proposals to increase the economic efficiency of DC electric traction system [14].

In the 1950s the scientific school «Economic theory of transport, optimization of material flow and cost management» was formed. A great contribution to its formation and development was made by MIIT scientists, Professors E. D. Khanukov, A. S. Chudov, A. K. Shubnikov, E. V. Mikhaltsev, and others. The new school of science developed a schematic presentation of normal directions of freight traffic. Scientists provided comprehensive recommendations for improving not only the country's railway transport system, but also other sectors of the economy. The authors' proposals were included in the Concept of Structural Reform in Railway Transport.

In 1955, MIIT was headed by Honoured Employee of Science and Technology Industry of the RSFSR, Professor F. P. Kochnev, who headed the Institute for a quarter of a century. A well-known scientist in the field of organising passenger and freight transportation, F. P. Kochnev founded at MIIT a school of science on organisation of passenger transportation by rail. The scientific school was engaged in development and implementation of new types of traction, heavy trains, development of the throughput and transit capacity of railways. For the first time in the USSR, scientific principles of organising





passenger traffic were developed, concerning the choice of a rational speed of passenger trains and optimisation of their weight [14].

During this period, prominent Soviet scientists, including four academicians and 130 doctors and candidates of sciences, taught and conducted scientific work at the institute [15]. Among them were Honoured Scientists and Technicians of the RSFSR, D.Sc. (Eng), Professors G. M. Shakhunyants, A. E. Sheinin, A. M. Brylev [16]. In 1966, MIIT team was awarded the first-degree diploma of the USSR Exhibition of Economic Achievements for success in research and design work [17].

In the 1960s new research centres and laboratories were created at the institute. In 1963, the Computing and Controlling Machines laboratory was organised at the department of mathematical and calculating devices (later it was renamed to become the Department of Computers), which was the Computing Centre of MIIT for nine years. In the laboratories of the departments of locomotives and locomotive economy (headed by Professor V. D. Kuzmich), of reliability of construction machines (headed by Professor G. S. Zagorskiy) unique automated measuring and computing and control systems based on control computers «CM-1634» were created. By the mid-1970s computer technology of different levels has firmly entered the research and educational activities of MIIT [2, pp. 180–182].

In the 1960s–1970s, MIIT school in the field of the dynamics of the traction drive of wheel-rail transport was among leading schools of science in the USSR. It was headed by Professor I. V. Biryukov. He founded and headed the scientific laboratory «Modelling the dynamics of electric rolling stock», and later the Scientific and technical centre «High-speed rolling stock» at MIIT.

In the 1970s at the institute, student scientific creativity was widely developed: students conducted a wide range of research in the student scientific society which has been operating since 1934. For success in research and design work of students, the institute was repeatedly awarded with VDNKh diplomas of the first degree, and the students were awarded medals of that exposition [18; 19]. According to the results of the All-Union review-competition in the field of research work of students in 1972–1973 MIIT took first place in the group of technical universities [17]. For the successes achieved in organising the research activity of students, the Council for Scientific Research Work of MIIT and a number of employees were awarded different Honorary Diplomas [20].

By the date of its 80th anniversary, MIIT had trained 70 thousand specialists for transport and other sectors of the national economy. By 1976, 59 departments and 1130 teachers were engaged in training of engineers at the institute. As a result of the «All-Union socialist competition for

improving production efficiency and quality of work», successful implementation of the national economic plan in 1976, 1977 and 1978, the university was awarded the Challenge Red Banner.

In the 1970s MIIT created at the department of Economics and management in transport scientific centres engaged in technical and economic research in transport: the Centre for Information Technologies in Economics and Finance, the industry's laboratory of Automated Logistics Management Systems. By 1976, the research sector of MIIT had grown into a large research institute, which developed up to 500 scientific topics and had a total volume of work reaching 5 million roubles a year [21, p. 4].

During this period, the department of Power supply of electric railways conducted research in the field of a new promising type of railway transport: ground wheelless, high-speed, magnetic suspension (VSNT), which was supposed to develop a speed of 350–500 km/h. Professors K. G. Markvardt and A. V. Chichinadze took an active part in these works [22]. At the department of Automation and telemechanics, the laboratory of Automated control of train traffic carried out scientific work on the topic «Development of a telecontrol system for an electric locomotive of double and heavy trains for BAM» [Baikal-Amur Mainline] [23]. The research team of the department of Electric traction also paid great attention to development of new rolling stock; the results of research were used by designers and manufacturers of rolling stock for the needs of the Baikal-Amur Mainline.

On October 25, 1988, MIIT led the newly established Educational and Methodological Association (UMO), headed by the rector of MIIT, Professor V. G. Inozemtsev. For his great contribution to educational and methodological work in 1992, by order of the Committee for Higher Education MIIT was recognised as the basic university of the Educational and Methodological Association of universities of the Russian Federation responsible for education in the field of railway transport and transport construction.

Considering the importance of training highly qualified personnel for railway transport, by order of the Ministry of Railways of January 26, 1989, the Industry's Centre for training of scientific, pedagogical and scientific personnel was created through restructuring of the centre for doctoral and postgraduate studies at MIIT.

D.Sc. (Eng), Professor B. A. Lyovin was appointed first director of the centre. The industry's centre began to coordinate the activities of universities and research institutes of railway transport on training of highly qualified personnel, e. g., a permanent workshop was created for the heads of postgraduate studies at universities and research institutes of the transport industry.

Since 1985, V. G. Inozemtsev, an outstanding scientist in the field of railway transport, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, was appointed rector of MIIT. Together with OJSC Transmash and Knorr-Bremse (Germany), he developed the 483KE braking system, which met the standards of Russian and European railways. This system received a certificate from the International Union of Railways and was approved for use on all railways. V. G. Inozemtsev's activities as rector of MIIT allowed the institute to survive the difficult times of perestroika and the collapse of the USSR, he headed the university until 1997 [24].

By the centenary, MIIT has become a forge of qualified personnel for land and water routes of Russia. On the day of the institute's anniversary, the university newspaper «Transport Engineer» wrote: «... *Over its almost century-long history, MIIT has trained more than 100 thousand engineers and engineers-economists for railway transport, transport and transport construction. The university has 60 departments, among which the oldest are: «Bridges», «Building structures», «Building mechanics», «Track and track economy», «Hydraulics and water supply» and others. MIIT is a large research centre...*» [25, p. 1].

In 1997, MIIT was headed by D.Sc. (Eng), Professor B. A. Lyovin. He became the founder of the school of science on «Organisation of production in the transport industry» at MIIT, the main areas of research of which are: patterns and factors of integrated development of the material and technical base of mainline, urban, and suburban transport, etc. [14].

On the eve of its 110th anniversary, MIIT received congratulations from the President of the Russian Federation V. V. Putin. The congratulatory telegram noted: «*Over the past decades, MIIT has come a long and glorious way, has become one of the recognised leaders of domestic higher technical education. The University can rightfully be proud of its faculty*



and many generations of graduates who have made a significant contribution to the development of the domestic transport complex and the Russian economy as a whole. It is gratifying that today loyalty to wonderful traditions, the desire to keep up with the times and work for the future help your university to remain a real forge of highly qualified specialists» [26].

In 2009, the Research Institute of Transport and Transport Construction was established at MIIT. The purpose of the new structure was to promote and support research projects carried out by teachers and students at the institute.

In December 2015, the Federal Agency for Railway Transport issued an order to rename the university to Moscow State University of Railway Engineering by mentioning that it is named after Nicholas II. Its historical name was returned to the university.

In 2016, the university celebrated its 120th anniversary, being the base centre for scientific follow-up of development of the transport complex in Russia. For more than a century of its existence, the university has trained about 650 thousand highly qualified specialists with higher and secondary vocational education, launched development of a dozen large schools of transport science [12, p. 56]. The university also received international recognition, in 2016 for a significant contribution to development of railway transport in Mongolia it was awarded the Order of the Pole Star.

RUSSIAN UNIVERSITY OF TRANSPORT

On June 27, 2017, the Ministry of Transport of the Russian Federation published an order «On approval of the charter of the federal state budgetary educational institution of higher education «Russian University of Transport», in accordance with which Moscow State University of Railway Engineering named after Nicholas II was renamed into Russian University of Transport. The director of the Administrative Department of the Ministry of Transport K. A. Pashkov wrote about creation of a new type of university on the basis of MIIT in the article «What will be Russian University of Transport?»: *«In Russia, the only university – MIIT – has preserved the entire educational chain from school to the academy of postgraduate education ... creation of RUT on the basis of MIIT is a historically conditioned and correct decision: we do not have a university with a stronger scientific base, scientific schools,*

infrastructure» [27 p. 9]. Before, in February 2017, the Collegium of the Ministry of Transport of the Russian Federation decided to create a modern scientific and educational centre through transformation of MIIT that would be named Russian University of Transport [28]. Russian University of Transport has become the largest industry university in the country, which provides staffing and scientific follow-up regarding development of the transport industry in Russia.

In 2017, the university became a laureate of the Golden Chariot International Transport Prize for the Achievements in Transport Science and Education nomination. In 2018, the university carried out scientific and technical cooperation with 172 partner universities and organisations from 49 countries and for the first time was indexed in the international ranking: EEEA regional ranking by QS World University Rankings. In April 2018, the university became one of the universities that received the right to develop and approve independently prepared educational standards for all levels of higher education. In September 2019, Russian University of Transport was included in the list of 1200 best world universities according to the Moscow International University Ranking «Three University Missions»: it was positioned 1001–1100 in the world rankings, and 48–58 among Russian universities. In 2019, the university received an autonomous status. Currently, the university acts as an advanced comprehensive and inter-modal transport scientific and educational centre. There are now 24 schools of science developing research activity within the walls of the University. The intellectual property of Russian University of Transport is represented by 62 valid patents of the Russian Federation [29].

The Rector of Russian University of Transport Alexander A. Klimov, speaking at a meeting of the Presidium of the Union of Rectors with a report on the prospects for development of transport education, noted the core scientific and educational fields evolving at the university: *«... transport and transport construction, logistics, digital technology, transport economics, intelligent systems, high-speed traffic, transport safety and much more ... We are the only comprehensive transport university in the country, and we are entrusted with the task of coordinating development programs for the entire industry of transport education» [30].*

For 125 years, Russian University of Transport has trained many tens of thousands of highly qualified specialists for the country's transport industry. Loyalty to traditions, the ability to respond to the spirit of the times and work for the future allow Russian University of Transport to remain in the ranks of the leading universities in Russia.

REFERENCES

1. People of Russian science. Essays on outstanding figures in natural science and technology [*Lyudi russkoi nauki. Ocherki o vydayushchikhsya deyatelyakh estestvoznaniya i tekhniki*]. Ed. by I. V. Kuznetsov. Moscow, 1965, Vol. 3, 580 p.
2. MIIT at the turn of the century [*MIIT na rubezhe vekov*]. Ed. by B. A. Lyovin. Moscow, MIIT publ., 2002, 641 p. [Electronic resource]: http://library.mii.ru/photo/rare_izdaniya/03-78004.pdf. Last accessed 09.04.2021.
3. Lyovin, B. A. Traditions tested by time [*Traditsii, proverennye vremenem*]. *Nauka i tekhnika transporta*, 2004, Iss. 2, pp. 88–94. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9285248>. Last accessed 09.04.2021.
4. Our first graduation. *Transport engineer*, 1979, No. 13, May 25.
5. Moscow Order of Lenin and the Order of the Red Banner of Labour Institute of Railway Engineers named after I. V. Stalin for 40 years of Soviet power [*Moskovskiy ordena Lenina i ordena Trudovogo Krasnogo Znameni Institut Inzhenerovzheleznodorozhnogo transporta imeni I. V. Stalina za 40 let Sovetskoi vlasti*]. Moscow, 1957, 136 p.
6. For a new Soviet university [*Za noviy sovetskiiy vuz*]. *Transport engineer*, 1979, No. 22, October 19.
7. MIIT: 110 years of serving the fatherland [*MIIT: 110 let na sluzhbe otechestvu*]. Ed. by B. A. Lyovin. Moscow, 2006, 328 p. [Electronic resource]: http://library.mii.ru/photo/rare_izdaniya/%D1%83%D1%87%D1%91%D0%BD%D1%8B%D0%B5%20%D0%BC%D0%B8%D0%B8%D1%82%D0%B0.pdf. Last accessed 09.04.2021.
8. Facts and Figures [*Fakty i tsifry*]. *Stalinets*, 1949, No. 26, November, 7.
9. Lyovin, B. A. «MIIT» chapter in the history of Moscow metro [*«Miirovskaya» glava v istorii moskovskogo metropolitena. Metro i tonneli*, 2016, Iss. 2, pp. 35–36. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26023785>. Last accessed 09.04.2021.
10. Department «Railway stations and junctions». The website of Russian University of Transport. [Electronic resource]: <https://www.mii.ru/depts/51>. Last accessed 09.04.2021.
11. Be at the height of new tasks [*Byt' na vysote novykh zadach*]. *Stalinets*, 1949, No. 16, September 1.
12. Lyovin, B. A. Four jubilees of MIIT [*Chetyre yubiley MIITa*]. *Transport strategy – XXI century*, 2016, Iss. 33, pp. 52–59. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26540348>. Last accessed 09.04.2021.
13. Directory for those entering the institute. Moscow, 1951, 139 p.
14. Schools of science. The website of Russian University of Transport. [Electronic resource (in Rus.)]: <https://www.mii.ru/science/scientific-schools>. Last accessed 09.04.2021.
15. Order of Lenin MIIT named after I. V. Stalin [*Ordena Lenina MIIT imeni I. V. Stalina*]. *Stalinets*, 1950, No. 24, June 9.
16. The largest transport university in the country [*Krupneishiy transportniy vuz strany*]. *Transport engineer*, 1979, No. 14, June 1.
17. Awards of MIIT [*Nagrady MIITa*]. *Transport engineer*, 1976, No. 22, September, 24.
18. The largest transport university in the country [*Krupneishiy transportniy vuz strany*]. *Transport engineer*, 1976, No. 7, March 18.
19. Archives and library funds of VDNKh. [Electronic resource]: <https://arhiv.vdnh.ru/>. Last accessed 25.05.2021.
20. The turn of the tenth five-year plan [*Rubezh desyatoy pyatiletki*]. *Transport engineer*, 1976, No. 11, April 15.
21. Entering the new academic year [*Vstupaya v noviy uchebniy god*]. *Transport engineer*, 1976, No. 20, September 9.
22. Departments of MIIT for transport. Research in the field of VSNT [*Kafedry MIITa transport. Issledovaniya v oblasti VSNT*]. *Transport engineer*, 1979, No. 21, October 12.
23. Disseminate the experience of Moscow railway workers [*Rasprostranyat' opyt moskovskikh zheleznodorozhnikov*]. *Transport engineer*, 1979, No. 22, October 19.
24. Inozemtsev Vladimir Grigorievich. The website of Russian University of Transport. [Electronic resource]: <https://www.mii.ru/page/171556>. Last accessed 09.04.2021.
25. The largest transport university [*Krupneishiy transportniy vuz*]. *Transport engineer*, 1996, No. 16–17 (2056–2057), June 7.
26. Website of the President of Russia. [Electronic resource]: <http://kremlin.ru/events/president/news/36338>. September 26, 2006. Last accessed 09.04.2021.
27. Pashkov, K. A. What will be Russian University of Transport [*Kakim budet Rossiiskiy transportniy universitet*]. *Gosudarstvo i transport*, 2016, Iss. 4, pp. 7–10.
28. The path long of 115 years: from an engineering school to the largest university in Russia [*Put' dlinoi v 115 let: ot inzhernogo uchilishcha do krupneishego universiteta Rossii*]. *Transport engineer*, 2016, No. 11 (802), September 21.
29. RUT (MIIT) today. The website of Russian University of Transport. [Electronic resource]: <https://www.mii.ru/depts/51>. Last accessed 09.04.2021.
30. We create movement. Rector of Russian University of Transport (MIIT) Alexander Klimov answers our questions [*My sozdaem dvihenie. Na nashi voprosy otvechaet rektor Rossiiskogo universiteta transporta (MIIT) Aleksandr Klimov*]. *Komsomolskaya Pravda newspaper*, November 21, 2019. The website of Komsomolskaya Pravda newspaper. [Electronic resource]: <https://www.kp.ru/daily/27058/4125809/>. Last accessed 09.04.2021. ●

Information about the authors:

Fedyakin, Alexey V., D.Sc. (Political science), Professor, Head of the History Department of Russian University of Transport, Moscow, Russia, avf2010@yandex.ru.

Medvedev, Sergey V., Ph.D. (History), Associate Professor, Associate Professor at the History Department of Russian University of Transport, Moscow, Russia, speransky1809@yandex.ru.

Tantsevova, Anastasia V., Ph.D. (History), Associate Professor at the History Department of Russian University of Transport, Moscow, Russia, tantsevova@mail.ru.

Article received 25.05.2021, approved 18.06.2021, accepted 25.06.2021.





ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-12>

Between Mathematics, Railways and Literature...



Olga A. PLATONOVA



Lydia V. PUGINA

*Olga A. Platonova¹,
Lydia V. Pugina²*

^{1,2} *Russian University of Transport, Moscow, Russia.*

✉ ¹ *platonova_o_a@mail.ru.*

ABSTRACT

In 2021, Russian University of Transport (previously known as MIIT, Moscow Institute of Transport Engineers) turns 125 years old. The Department of Higher Mathematics has existed since the inception of the university and has a rich history.

This significant date provides an opportunity to the authors to refer to some of the most important moments in the history of this Russian higher educational institution, as well as to recall the names

of some scientists, mathematicians, university professors, whose activities undoubtedly influenced both the level of training of domestic railway engineers, and the high status of the educational institution itself.

It is also an opportunity to highlight the continuity of the values of mathematical knowledge for the past and future generations of students in transport and transportation fields.

Keywords: *Russian University of Transport, history of transport, mathematics, transport, outstanding mathematicians, higher education, Boleslav Mlodzeevsky, Elena Wentzel, Anatoly Myshkis, Friedrich Karpelevich.*

For citation: *Platonova, O. A., Pugina, L. V. Between Mathematics, Railways and Literature... World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19. Iss. 3 (94), pp. 256–264. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-12>.*

**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

In 1895, an issue of opening an engineering educational institution in Moscow was raised during one of the meetings at the Ministry of Railways of Russia. At that moment, the country had the only higher school training highly qualified railway specialists. That was St. Petersburg Institute of the Corps of Railway Engineers that had existed since 1809. The need to open a new educational institution was dictated by the rapid growth of domestic industry at the end of 19th century, development of the network of railways and railway transport, and construction of large new railways.

The creation of Moscow Engineering School of the Ministry of Railways was initiated by Nikolai Pavlovich Petrov (1836–1920), who at that time held the post of Deputy Minister and supervised all educational institutions. He had engineering educational background, being graduate of both the Cadet corps and the Engineering Academy. It should be noted that N. P. Petrov took part in drafting the Regulations and Charter of the new educational institution, as well as in development of its study course and curriculum.

Imperial Moscow Engineering School (IMIU) was created following the model of Royal Indian Engineering College at Cooper's Hill in England, which trained under an accelerated program technicians for service in India. But already in 1907, the period of study at the IMIU was increased, the course of theoretical training of students was expanded, and by 1912, due to the staff of professors who worked within the walls of the School, the training programs were expanded to a level that corresponded to the educational standard of St. Petersburg Institute of the Corps of Railway Engineers. The latter, in turn, was modelled following the example of the famous French *École Polytechnique* and had the status of a military educational institution. And just like in the French *École Polytechnique*, mathematics was put at the top of disciplines learnt.

If assessed by their theoretical knowledge, railway track engineers were the most educated people in Russia, which testifies to the high requirements for theoretical knowledge and a good form of organisation of teaching.

In 1913, IMIU was transformed into Moscow Institute of Transport Engineers (MIIT).

We do not aim to remember all the educators who have worked in that transport higher



Boleslav Kornelievich Mlodzeevsky (1858–1923).

education institution from its opening to the present time since this cannot be done within the framework of this article. Therefore, let us dwell on the activities of mathematics teachers, world-renowned scientists who at different times worked within the walls of the university.

BOLESLAV MLODZEEVSKY

We would like to start with reminiscences about Boleslav Kornelievich Mlodzeevsky, the first head of the Department of Mathematics at the IMIU.

B. K. Mlodzeevsky was born in Moscow on July 10 (June 28, old style), 1858, in the family of Korneliy Yakovlevich Mlodzeevsky (1818–1865), a professor of clinical pathology and therapy at Moscow University. After the death of their father, their mother Adelaida Vikentievna was greatly supported and assisted by her brother, a famous academician of painting, Kirill Vikentievich Lemokh, in raising children: seven-year-old Boleslav and five-year-old Vikentiy (who later became a famous physician).

Boleslav Mlodzeevsky graduated from Moscow University in 1883, and already in 1885, he became a privatdocent of the University.

In 1887, «Scientific Notes of Moscow University» published his first scientific research, his master's thesis «Investigations on the bending





of surfaces». This paper, besides deriving the general bending equation, a second-order equation which is linear with respect to the second derivatives of the sought function and their discriminant, presented the theory of differential invariants of quadratic forms. This theory was investigated in more detail and presented in the doctoral thesis «On the manifolds of many dimensions», published in «Scientific notes of Moscow University» in 1889.

When the Imperial Moscow Engineering School under the Ministry of Railways, opened in Moscow in 1896, Boleslav K. Mlodzevsky gained the right to head the Department of Mathematics in it (it is worth noting that about 250 people applied for 50 teaching positions). Boleslav K. Mlodzevsky with his genuine enthusiasm actively engaged in the activity of the IMIU. He was fascinated by this work also because it was a completely new experience for him since, up to this point, Boleslav K. Mlodzevsky had to train only future teachers of mathematics in gymnasiums and vocational schools (who at that time were trained at universities).

Boleslav K. Mlodzevsky directly participated in developing first curricula in mathematics and first syllabi of mathematical courses used to train railway engineers.

Boleslav K. Mlodzevsky worked at the IMIU until 1913. During these 17 years of work, the scientist managed to advance in his research, which was associated with the study of applied engineering problems, but also in theoretical issues. Naturally, much attention was paid to the geometrical disciplines. It should be noted that both future engineers and theoretical mathematicians studied according to the textbooks on analytical geometry written by Professor Mlodzevsky.

B. K. Mlodzevsky was fully endowed with such qualities as versatility of interests, breadth and depth of knowledge and elegance of presentation of scientific research. Thanks to that his name has forever entered the history of Russian science.

A new type of educational activity at that time was the conduct of special courses. It was Boleslav Mlodzevsky who, in the 1900s, was the first to prepare and read a special «Course in the theory of functions of a real variable» and «Set theory». Later, these areas of mathematics became the leading ones in the world mathematical sciences. Professor Mlodzevsky also organised a seminar on mathematics, which was attended not only by students, but also by academic faculty. Sessions of such seminars were a new form of organisation of study and independent

work of students. Later, this form of students' scientific work was also used at Moscow University, and over time it became widespread.

B. K. Mlodzeevsky's scientific interests are mainly related to differential geometry. More than half of 40 of his scientific works, which were published in various publications of that time, are related to geometry, in particular, to the study of surface bending.

Leaving Moscow University in 1913, as well as the well-known events of 1914–1917 had a heavy impact on the mental and physical condition of Boleslav Kornevich, and 1918–1919 were also complicated for him because of the illness of his wife.

The founder of the mathematical school of Moscow Institute of Transport Engineers, a talented scientist and professor deceased on January 18, 1923 at the age of 65. He was buried at the Novodevichy cemetery in Moscow. According to the decree of the government of the Russian Soviet Federative Socialist Republic, the grave of B. K. Mlodzeevsky was declared a monument of history and architecture.



Elena Sergeevna Wentzel (1907–2002).

ELENA WENTZEL

It is known from the history of domestic science and development of higher education that it was rather difficult for women in Russia throughout 19th and early 20th centuries to get a higher education, engage in teaching activities, and scientific research. Therefore, we would like to recall the woman mathematician Elena Sergeevna Wentzel, whose name is proudly inscribed in the history of our University.

Elena Sergeevna Wentzel¹ was born on March 21, 1907, in Reval (now Tallinn). Her father, Sergei Fedorovich Dolgintsev, was a mathematics teacher, and her mother Olga Dmitrievna worked as a teacher in an elementary school. In 1923, Elena Sergeevna entered the Physics and Mathematics Faculty of Petrograd University. At that time, the faculty staff comprised Grigory M. Fikhtengolts, Boris N. Delone², Nadezhda N. Gernet, Andrey M. Zhuravsky; and Ivan M. Vinogradov, future Academician, was her scientific advisor.

In 1929, she obtained a university degree in mathematics with the right to teach in secondary and higher schools and went to work at

¹ Also spelled sometimes as Ventsel or Ventzel. *Translator's note.*

² Also spelled in French and German as Delaunay. *Translator's note.*

Ostekhbyuro, from where she soon moved to work at the Military Academy.

In 1935, Elena Wentzel moved with her husband (D. A. Wentzel, lecturer at the Artillery Academy, future leading specialist in the theory of artillery fire, the author of textbooks on ballistics) to Moscow. She continued professional activity at the Artillery Faculty of the Air Force Engineering Academy of the Red Army (AFEA; later the N. E. Zhukovsky Air Force Engineering Academy).

Since 1939 Elena S. Wentzel was an assistant lecturer, since 1940 a lecturer, since 1947 a senior lecturer at AFEA. In 1944 she defended her Ph.D. thesis, and ten years later her D.Sc. thesis. Since 1955, Elena Sergeevna was a professor at the Department of Aerial Shooting.

E. S. Wentzel's scientific interests were focused on the applied problems of the theory of probability, the use of probabilistic methods to improve the accuracy of aerial shooting and bombing, and to improve the methods of adjustment of air armaments. It should be noted that at this time formation and rapid development of mathematical disciplines, unified under the name of «Operations Research», took place in the Soviet Union and in the United States.

In 1961, E. S. Wentzel published the monograph «Foundations of the Theory of



Combat Effectiveness and Operations Research» written in collaboration with a number of other scientists.

In 1968, Elena Wentzel entered the position of professor at the Department of Applied Mathematics at MIIT [at the time its full name was Moscow Institute of Railway Engineers], where she worked until 1987.

E. S. Wentzel's works on operations research, linear optimisation, dynamic programming, game theory, queuing theory, and related issues found a great response in the engineering community.

In 1972, she published the book «Operations Research».

E. S. Wentzel is the author of several textbooks that are still popular and in demand not only in our country, but also abroad: «Probability Theory», «Introduction to Operations Research: Problems, Principles, Methodology», «Elements of Game Theory», «Elements of dynamic programming».

The textbook on probability theory was snapped up not only in scientific libraries, but also in ordinary ones. Anyone who wanted to win at Sportloto³, calculate the likelihood of life on Mars, or meet their soulmate...

Until now, learning in such a discipline as the theory of probability at our University includes studying of the book «Theory of Probabilities. Problems and Exercises», written by E. S. Wentzel in collaboration with L. A. Ovcharov, as well as of «Probability theory and its engineering applications», and a number of other textbooks. E. S. Wentzel owns more than 130 scientific papers, the total volume of which is 3000 printer's sheets.

During the period when E. S. Wentzel worked at MIIT, the Department of Applied Mathematics has a unique scientific and pedagogical team, an informal centre for engineering mathematics education in the Soviet Union. E. S. Wentzel was the scientific leader of the Student Consulting Bureau (SCB). Students in mathematics acquired the most valuable skills in applied research, and engineers received real help in solving their problems. E. S. Wentzel devoted a lot of time and effort to individual work with students, believing that this type of activity is the basis of higher education. A number of students of E. S. Wentzel,

³ Sportloto was then popular lottery where it was necessary to guess correctly a combination of numbers. *Translator's note.*

graduates of MIIT, later became the authors of significant scientific works.

The biography of a scientist and lecturer, E. S. Wentzel, would be incomplete, if not to mention another side of her activities since at the beginning of the 1960s, journal publications, and then, in 1966, a collection of stories «Under the Lantern» were published signed I. Grekova (the pen name also involved mathematics: it is based on the name of the Greek letter «igrek» (Y)). In 1966 I. Grekova (E. S. Wentzel) was admitted to the Union of Writers of the USSR.

In her literary works, I. Grekova described the fate and characters of people working in the fields of science and technology, anxiety, sadness and joy of people of her generation, for which she was blamed by some part of the staff. An attempt to get rid of the disobedient professor made E. S. Wentzel in 1968 to write a letter of resignation from the AFEA.

While working at our University, Elena S. Wentzel wrote her most famous story «The Department⁴» (1978), which reflects, among other things, the problems of teaching mathematics. Unfortunately, these problems are of concern to our colleagues even now.

Many plays were written based on the stories by I. Grekova. Those plays were staged at Moscow Art Theater, Mossovet Theater, Vilnius Russian Drama Theater. We know and love the movie by Stanislav Govorukhin «Bless the Woman», the script of which was written based on the play by I. Grekova «The Hostess».

On April 15, 2002, E. S. Wentzel passed away, leaving a great scientific, pedagogical, and author's legacy.

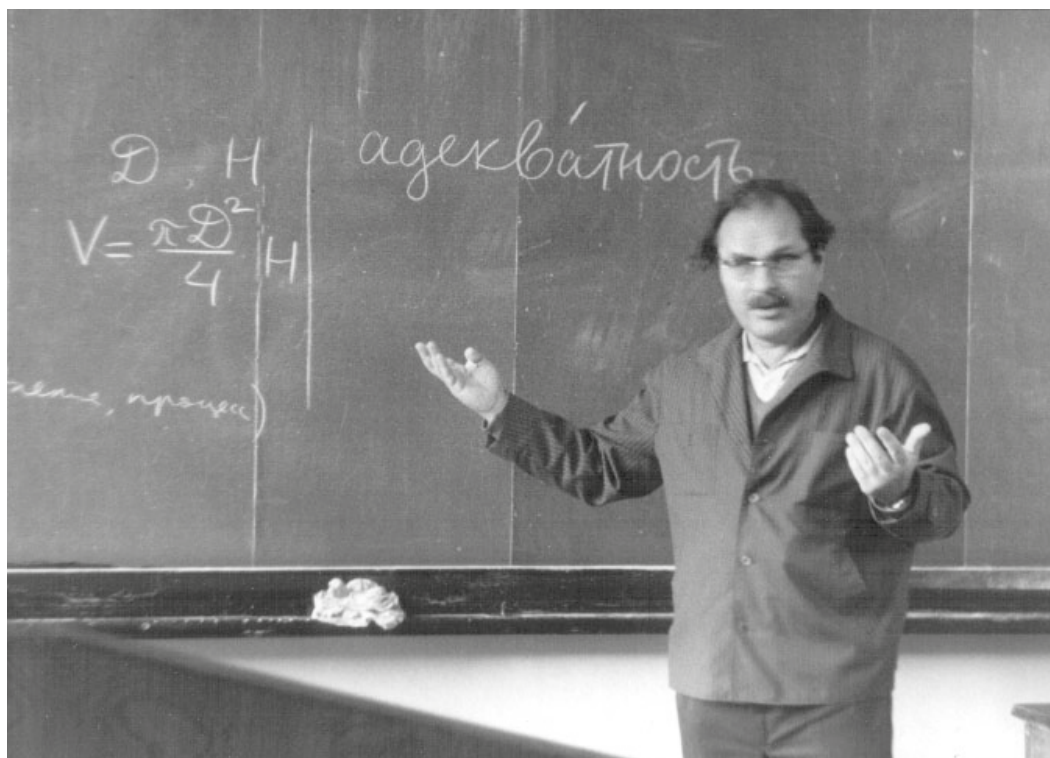
ANATOLY MYSHKIS

There was another mathematician among those attended at a time E. Wentzel's course, who should also be mentioned in this article. His name is Anatoly Dmitrievich Myshkis⁵, professor at MIIT, internationally recognised scientist.

The authors of this article are especially pleased to remember Anatoly Dmitrievich, since for several years we have been lecturing side by

⁴ Another name in English can be «The Chair». *Translator's note.*

⁵ Myshkis Anatoly Dmitrievich. – Wikipedia (wikipedia.org). [Electronic resource]: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D1%8B%D1%88%D0%BA%D0%B8%D1%81_%D0%90%D0%BD%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D0%B9_%D0%94%D0%BC%D0%B8%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D1%87. In Rus. Last accessed 25.06.2021.



Anatoly Dmitrievich Myshkis (1920–2009).

side at the Department of Higher Mathematics at MIIT.

Professor Myshkis's desk immediately caught the eye of a person entering the department office since there was always a mountain of correspondence stocked on it, received from diverse research communities, foreign colleagues, and students. We remember Anatoly Myshkis as a highly educated, intelligent, very benevolent person, a wise advisor and mentor.

Anatoly Dmitrievich Myshkis was born on April 13, 1920, in the city of Spassk, Ryazan region. From 1933 he lived in Moscow, where in 1937 he graduated from high school and without exams was enrolled in the Faculty of Mechanics and Mathematics of Moscow State University.

After the Great Patriotic War began, students of the Faculty of Mechanics and Mathematics were called up to study at AFEA, which at that time was stationed in Sverdlovsk. There Anatoly Myshkis studied at the Faculty of Aviation Armament, where practical lessons on probability theory were taught by E. S. Wentzel (later they collaborated within the walls of MIIT).

In parallel with his studies at AFEA in 1942, Anatoly Myshkis studied at the Ph. D. school of

Moscow State University (first in absentia, and later in person). In 1946, he defended his Ph.D. thesis. Since 1947, he taught in Riga at II Leningrad Red Banner Higher Aviation Engineering Military School and Latvian State University. Later, Anatoly Myshkis headed the departments at Belarusian State University, the Department of Applied Mathematics of Physics-Technical Institute of Low Temperatures of the Academy of Sciences of the Ukrainian Soviet Socialist Republic.

From 1974 until his death in 2009, Anatoly Dmitrievich Myshkis was a professor at MIIT.

The oldest lecturer at our university, Galina Fedorovna Kanaeva, who had worked for more than 50 years (from 1960 to 2013) at MIIT at various mathematical departments under the leadership of Yu. V. Rudnev, L. E. Sadovsky, F. I. Karpelevich, N. A. Pankin, R. I. Grigorchuk, V. B. Minasyan, O. A. Platonova as heads of mathematics departments, shared her memories of A. D. Myshkis and E. S. Wentzel.

Galina Fedorovna Kanaeva recalls:

«Anatoly D. Myshkis was so immersed in scientific activity and research work that at any moment he could be found reading either a book or a journal article. Even when rarely visiting the





MIIT (1960–1970).

dacha⁶, which the university allocated for the professor's family, Anatoly D. Myshkis came there with a book. In the evening the book was read, and in the morning, he left for Moscow to sit at his desk.

The fact that Elena Wentzel and Anatoly Myshkis were outstanding scientists, recalls Galina F. Kanaeva, was immediately felt when communicating with these people as a young lecturer, as I was at that time. These were professors whose authority was indisputable for me». Galina Kanaeva also remembered that E. S. Wentzel conducted methodological seminars for mathematicians of MIIT, at which she shared her experience of lecturing. According to the recollections of Galina Kanaeva, who saved the notes with the instructions of Elena S. Wentzel, she recommended «not to deliver «dry» lecture, but to fill it with an emotional component. In order for the students not to have the opportunity to be distracted from the material presented by the lecturer, Elena Wentzel recommended even deliberately making mistakes when solving problems and making sure that students find these mistakes».

⁶ Summer house. *Translator's note.*

«We were lucky», concluded Galina Kanaeva, «after all, we worked with Scientists regarding whom this word should be written with a capital letter».

Anatoly D. Myshkis is the author of more than 330 research articles, 70 methodological publications (many of which are co-authored with his colleagues), 14 articles in newspapers and magazines, 19 books published in 50 editions in 10 languages, two copyright certificates, he also translated and edited 16 books.

Anatoly D. Myshkis was the official advisor for thirty-six defended Ph.D. and seven D.Sc. theses.

The main area of A. D. Myshkis's research activity was the theory of functional differential equations, where he is the author of a number of fundamental results. Since 1950, when Anatoly D. Myshkis defended his D.Sc. thesis, his scientific activity was associated with topical issues and problems in the field of astronautics, transport, technology. In recent years, Anatoly Myshkis and his students were engaged in Zhukovsky's problem of starting a train. Researchers have received unexpected results that can be attributed not only to this problem. These results have

largely changed the classical understanding of the relationship between discrete and continuous models.

The contribution of A. D. Myshkis to mathematics and methods of teaching mathematics is invaluable. Many Soviet and Russian engineers studied according to his textbooks, and scientific works were translated into different languages and published in many countries.

He took an active part in the work of Moscow Mathematical Society, where he headed the section of engineering higher education institutions, in the work of the mathematical section of the Moscow House of Scientists.

A. D. Myshkis received official titles of an honoured employee of higher education, an honorary member of the Presidium of Kharkov Mathematical Society, an honorary railway employee. The scientist's versatile activities have been recognised with several government awards.

The famous American mathematician Jack Kenneth Hale wrote that A. D. Myshkis introduced a general class of equations with a delayed [retarded] argument and laid the foundations for the theory of systems of such equations. Not every scientist, even a world-class scientist, can be said to be the founder of a fundamentally new direction in science.

Indeed, the most significant, but not the single one, achievement of Anatoly D. Myshkis is the development of the theory of the function of differential equations which was a new direction in the theory of differential equations.

FRIEDRICH KARPELEVICH

The authors of the article were lucky to work with another remarkable mathematician, Friedrich Izrailevich Karpelevich⁷. Friedrich Karpelevich was born in 1927. His youth fell on the war years. Childhood was difficult, at the age of 14, he came to the plant to work as a milling machine operator. Once his fingers got into the machine, and Friedrich Karpelevich lost part of the phalanges on several fingers. But, despite all the difficulties, in 1947 he entered the Faculty of Mechanics and Mathematics at Moscow State University. Already in his student years, he published papers on the problem of describing the set of all possible eigenvalues of stochastic

⁷ Fridrikh Karpelevich. Wikipedia (wikipedia.org). [Electronic resource]: https://en.wikipedia.org/wiki/Fridrikh_Karpelevich. Last accessed 25.06.2021.



Friedrich Izrailevich Karpelevich (1927–2000).

matrices of order n , stated by Andrei Kolmogorov in 1938.

In his fourth year of study, he proved a theorem on the canonical embedding of a real semisimple Lie subalgebra, which is now referred to in textbooks.

This proof was included in F. I. Karpelevich's diploma work.

In 1956, Karpelevich was awarded the prize of Moscow Mathematical Society for a series of works on algebra.

In 1953, Professor Petr Konstantinovich Rashevsky invited the young scientist to his department of Higher Mathematics at MIIT.

Friedrich I. Karpelevich was a wonderful teacher. His lectures were distinguished by thoughtfulness and precision of formulation.

In 1962, together with S. G. Gindikin, he calculated the c -function as the product of B -functions, thus obtaining an expression for the density in the Plancherel formula (the Gindikin–Karpelevich formula). Another achievement in the theory of symmetric spaces was the «Karpelevich boundary» – the construction of the boundary of Riemannian symmetric spaces of non-positive curvature (1965).

Since the mid-1970s, F. I. Karpelevich began to actively study problems within the queueing theory. It is especially worth noting a cycle of works on multiphase queueing systems, carried out jointly with A. Ya. Kreinin, as well as a cycle of works on



the queuing theory, which was carried out jointly with M. Ya. Kelbert and Yu. M. Sukhov.

His research on the queuing theory is of great importance, both theoretical and practical, for the problems related to organisation of transportation and the economy of railway transport, and is widely known in our country and abroad.

For many years Karpelevich maintained scientific relations with St. John's College, University of Cambridge, England. He received invitations three times to conduct collaborative research at the College.

Until the end of his life (2000) Friedrich I. Karpelevich worked at our University.

In 1965, he organised and headed the Department of Applied Mathematics, from 1970 to 1988 he was the head of the Department of Higher Mathematics, and then for ten years headed the Department of Applied Mathematics-2.

He is the author of many textbooks on queuing theory, mathematical programming, and in many other areas of applied mathematics.

The list of his scientific publications includes 83 works. Many examples can be cited from within the most extensive list of his works and of the works about him [11; 12].

We would like to quote the words of Professor Semen Gindikin about Karpelevich: «The American Mathematical Society has published 2 volumes in which colleagues pay tribute to his memory. His results largely determined the current state of the areas in which he worked, and those results continue to live. Many in the world understand the depth of his achievements, but only those who happened to work with him know an equally important circumstance: how he organically combined amazing talent with amazing spiritual qualities».

In conclusion, we would like to note that thanks to the researchers, scientists, and faculty who worked within the walls of our University, during its 125-year existence, a whole cohort of scientists and railway engineers has been educated, and the railway transport of Russia has developed and continues to improve at the present time by their knowledge and forces.

REFERENCES

1. Pugina, L. V., Mihalyov, G. I. A Round of Applause for Analytical Geometry. *World of Transport and Transportation*, 2018, Vol. 16, Iss. 4 (77), pp. 248–252. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1510>. Last accessed 25.06.2021.
2. Zverkina, G. A., Pugina, L. V. Geometry of course of life. *World of Transport and Transportation*, 2009, Vol. 7, Iss. 2 (26), pp. 162–166. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12418603>. Last accessed 25.06.2021.
3. Pugina, L. V. In order to avoid auxiliary position. *World of Transport and Transportation*, 2013, Vol. 11, Iss. 3 (47), pp. 206–210. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/403>. Last accessed 25.06.2021.
4. Mazikina L. Bless the woman Elena, or how a pioneer of Soviet programming also turned out to be a writer [*Blagoslovite zhenshchimu Elenu, ili kak pionerka sovetskogo programmirovaniya okazalas esche i pisatelnitsei*]. [Electronic resource]: <https://www.goodhouse.ru/stars/zvezdnye-istorii/blagoslovite-zhenshchimu-elenu-ili-kak-pionerka-sovetskogo-programmirovaniya-okazalas-eschchyoi-pisatelnicey/>. Last accessed 25.06.2021.
5. Vinogradov, V. V., Kochneva, L. F., Platonova, O. A. On improving the quality of mathematical knowledge. *World of Transport and Transportation*, 2014, Iss. 4, pp. 142–147. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/127>. Last accessed 25.06.2021.
6. Dynkin, E. B., Gelfand, I. M., Gindikin, S. G. [et al]. Friedrich Izrailevich Karpelevich (obituary) [*Friedrich Izrailevich Karpelevich (nekrolog)*]. [Electronic resource]: DOI: <https://doi.org/10.4213/rm359>.
7. MIIT: 110 years in the service of the Fatherland [*MIIT: 110 let na sluzhbe Otechestvu*]. Ed. by B. A. Lyovin. Moscow, MIIT publ., 2006, 328 p.
8. Zuberbilller, O. N. Boleslav Kornelievich Mlodzeevsky. Report of Moscow University for 1923. Moscow, 1924, pp. 257–274.
9. Gushel, R. Z. B. K. Mlodzeevsky and secondary mathematical education in Russia in the late 19th–early 20th century [*B. K. Mlodzeevsky i srednee matematicheskoe obrazovanie v Rossii v kontse XIX–nachale XX veka*]. Proceedings of VII international Kolmogorov readings. Collection of scientific articles. Yaroslavl, YAGPU Publishing House, 2009, pp. 413–421. [Electronic resource]: https://www.mathedu.ru/text/trudy_7_kolmogorovskih_chteniy_2009/p413/. Last accessed 25.06.2021.
10. Vasilyeva, R. I. Friedrich Izrailevich Karpelevich. [Electronic resource]: <https://studylib.ru/doc/945414/biografiya-professora-f.i.-karpelevicha>. Last accessed 25.06.2021.
11. Karpelevich, F. I., Sukhov, Yu. M. On the boundedness of nonhomogeneous branching diffusion on the line. *Dokl. Akad. Nauk*, 1996, Vol. 349:4, pp. 449–450. [Electronic resource]: http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=dan&paperid=4049&option_lang=eng. Last accessed 25.06.2021.
12. Kreinin, A., Suhov, Yu. Karpelevich's Contribution to Applied Probability. American Mathematical Society. *Advances in the Mathematical Sciences*, 2002, Vol. 207, pp. 1–24. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/233863775_KARPELEVICH'S_CONTRIBUTION_TO_APPLIED_PROBABILITY/citation/download. Last accessed 25.06.2021. ●

Information about the authors:

Platonova, Olga A., Ph.D. (Physics and Mathematics), Associate Professor at Russian University of Transport, Moscow, Russia, platonova_o_a@mail.ru.

Pugina, Lydia V., Ph.D. (Physics and Mathematics), Associate Professor at Russian University of Transport, Moscow, Russia, pugina_lydia@mail.ru.

Article received 08.06.2021, approved and accepted 09.07.2021.

TV



GALLERY OF FAMOUS NAMES

266

Academician V. N. Obratsov and the European North of Russia. Plans and projects of transport developments in post-war period: scientific and historical analysis.



HISTORY WHEEL



NEWS FROM THE ARCHIVES

275

Craft training and vocational schools: on how the railwaymen were trained 110 years ago.





ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-13>

Post-war Projects of Academician V. N. Obratzov for Development of Transport in the European North of the USSR



Larisa P. ROSCHEVSKAYA



Mikhail P. ROSCHEVSKY

*Larisa P. Roshchevskaya*¹,
*Mikhail P. Roschevsky*²

¹ Federal Research Centre «Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences», Syktyvkar, Russia.

² Institute of Language, Literature and History of Federal Research Centre «Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences», Syktyvkar, Russia.

✉ ¹ lp38rosh@gmail.com.

ABSTRACT

In 2024, the Russian Academy of Sciences will celebrate its three hundredth anniversary. In this regard, there is a relevant need to comprehend the contribution of Soviet scientists to reconstruction of the country's economy after the Great Patriotic War. In 2021, Russian University of Transport where Academician V. N. Obratzov once worked, celebrates the 125th anniversary. The scientific conceptualisation of the ways to develop the North of the country is of great importance for the development of the transport system of Russia. Hence, those factors determine the topicality of the objective of the article to study the projects for development of transport in the European North of the USSR put forward by Academician V. N. Obratzov in the post-war period.

To attain this objective, the system-structural and historical-comparative methods were used.

For the first time the activity of V. N. Obratzov, as of an analyst and expert in the field of development of post-war railway

transport, is analysed. It is concluded that having the talent of a major leader of transport projects, Obratzov put forward research tasks adequate to the requirements of the time for reconstruction of the country's economy after the war. Among these tasks, he considered modernisation and development of transport. In the projects of 1945, Obratzov laid the foundations for long-term planning of railway, road, river, and air transport in the European North of the USSR for several decades ahead. The volume of the proposed construction was enormous. Even though the planned large-scale design of the transport infrastructure was not entirely feasible for implementation in a short time due to limited forces and resources of the country, it catches imagination with far-reaching prospects for development of the European North and the Arctic. Academician Obratzov's programs for development of the north, being of great scientific value, are especially relevant in 21st century.

Keywords: transport, history, Russian Academy of Sciences, Academy of Sciences of the USSR, Base of the Academy of Sciences of the USSR in the Komi ASSR, design of transport infrastructure, North-Pechora railway, Academician V. N. Obratzov.

For citation: Roshchevskaya, L. P., Roschevsky, M. P. Post-war Projects of Academician V. N. Obratzov for Development of Transport in the European North of the USSR. *World of Transport and Transportation*, 2021, Vol. 19, Iss. 3 (94), pp. 266–274. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-13>.

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

In 2024, the Russian Academy of Sciences will celebrate the three hundredth anniversary. Since this important date in the history of Russian and world science is approaching, there is also a growing need to reveal and conceptualise the contribution of Soviet scientists to reconstruction of the country's economy after the Great Patriotic War. Scientific discoveries are supported by many factors, including the location of scientific divisions of the USSR Academy of Sciences throughout the country. One of these entities is the Federal Research Centre «Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences» (FRC «Komi SC of the UrB of the RAS»), which celebrated its 75th anniversary in 2019. The history of the Centre is connected with beginning of the Great Patriotic War, when academic institutions were evacuated from Arkhangel'sk and Kirovsk (Murmansk region). On their basis, on September 30, 1941, the Base of the Academy of Sciences of the USSR was created for the study of the North in the city of Syktyvkar, Komi ASSR, headed by Academician A. E. Fersman. In June 1944, following re-evacuation of some of the employees to their former job sites, the base was transformed into the Base of the Academy of Sciences of the USSR in the Komi ASSR, led in 1944–1948 by Academician Vladimir Nikolaevich Obraztsov who was its director.

NOVELTY

The upcoming anniversary prompts to analyse the project activities of Academician Obraztsov as of an analyst, expert and director of the Base of the USSR Academy of Sciences in the Komi ASSR in 1945 in the field of development of post-war railway transport. The proposed article introduces into scientific circulation two publications on reports at scientific conferences and the text of a scientific and educational lecture by V. N. Obraztsov.

METHODOLOGY

To reveal the topic, the system-structural and historical-comparative *methods* were used. The systemic-structural method requires isolation of the elements that are included in the system, as well as the analysis of the nature of the relationship between elements, and the study of interaction with the external environment. The historical-comparative method allows comparison in space and time. The genre of the article identified the

biographical principle as the key one for this work. Internal periodisation is determined by a clearly defined date which is the end of the Great Patriotic War.

HISTORIOGRAPHY

The exploration and development of the North in 20th century was greatly influenced by the Northern Sea Route, development of river transport and construction of railways. But until the 1930s, the Soviet state was not ready for large-scale development of the North. The innovative concept of development of the Soviet North belongs to the economist S. V. Slavin, who focused on the need to create a favourable environment for the population in the North and Siberia, including during construction of railways (Slavin, 1961 [1]). Understanding of the contribution of V. N. Obraztsov to development of railway transport is facilitated by research on the history of industrialisation and on the history of major strategic operations during the Great Patriotic War (Kovalev, 1981 [2]).

The regional literature pays sufficient attention to railway projects (Kalemeneva, 2018 [3]; Kiselenko, 2014 [4]; Kuratova, 2010 [5]; Kuratova, Roshchevsky [*et al.*], 2001 [6]), but reference publications with brief biographical information prevail (Vaneev, 1999 [7, p. 349]; Silin, 2000 [8]). Some authors considered V. N. Obraztsov a «secret» scientist (Sivkova, 2017 [9]), while others used the concept of «remote control» to characterise the features of V. N. Obraztsov's work in Syktyvkar (Samarin, 2006 [10]). Nevertheless, the literature does not contain yet characterisation of V. N. Obraztsov's post-war projects on development of transport in the European North.

Sources on the chosen topic are available in several archives. The personal archival fund of the scientist was deposited in the Archives of the Russian Academy of Sciences (scientific works, correspondence, documents related to trips to Syktyvkar, etc.) In the Komi Republic, V. N. Obraztsov's documents were deposited in two archives. In the National Archives of the Komi Republic, his documents are in the funds of the Council of Ministers of the Komi ASSR and the Komi Regional Committee of the All-Union Communist Party of Bolsheviks (memoranda, information, and reports on the work of the Base of the USSR Academy of Sciences in the Komi ASSR). The Scientific Archive of the Federal Research Centre «Komi



Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences» contains the minutes of meetings with the participation of V. N. Obratsov, a typewritten copy of his report «Immediate Prospects for Development of Transport in the USSR» at a meeting of the party activists in Syktyvkar (1945), the text of which was transferred to the Archives of the USSR Academy of Sciences in the 1970s; activity report for the year 1946.

Several hundred works of the Academician belong to the published sources, but their complete list has not been compiled. On the eve of his election as a member of the USSR Academy of Sciences in 1939, Vladimir Nikolaevich Obratsov compiled such a list, but he was unable to restore the exact imprint regarding many publications. In 1944, the USSR Academy of Sciences prepared a bibliography of his works, but it did not include the publications of the last years of his life (Vladimir Nikolaevich Obratsov, 1944 [11]). Obratsov's articles were also published in the newspapers of the Komi ASSR, which is proved by the request of an employee of the Council of Branches and Bases of the USSR Academy of Sciences in September 1945 to send «issues of republican newspapers (in Russian and Komi languages) with his articles» (NA Komi SC of the UrB of the RAS, F. 1, L. 19, D. 40, S. 1¹). It has not yet been possible to identify them. Another group of sources is made up of publications in the newspaper «Za noviy Sever» [For the new North]: a review of the Academician's activities as of the director of the Base of the Academy of Sciences of the USSR in the Komi ASSR (Shishkin, 1949 [12]) and an obituary (Obratsov Vladimir Nikolaevich, 1949 [13]).

RESEARCH OBJECTIVES AND TASKS

The identified sources in aggregate make it possible to find out what projects for future development of transport in the European North of the USSR were put forward by Academician V. N. Obratsov in the post-war period.

SHORT BIOGRAPHY OF VLADIMIR OBRAZTSOV

Without dwelling on the biography, let us highlight the most significant events in Obratsov's life before Syktyvkar period. Vladimir Nikolaevich Obratsov (June 6 (June

¹ Please see the list of archival documents at the end of the article for details.

18, new style calendar), 1874, Nikolaev – November 28, 1949, Moscow) graduated from St. Petersburg Institute of Railway Engineers (1897), even before the revolution of 1917 acquired the authority of a major specialist in design and operation of railway stations, participated in construction of new lines and sections of Moscow–Kursk and Moscow–Yaroslavl railways. Later Obratsov, after becoming D.Sc. (Eng) (1934, without defending the thesis) and Honoured Worker of Science and Technology of the RSFSR (1935), was elected Academician of the Academy of Sciences of the USSR (1939). He became a laureate of the Stalin Prizes in 1942 and 1943.

In 1935 Vladimir N. Obratsov was entitled to take the lead of Scientific and Research centre of Railway Transport of People's Commissariat of Railways of the USSR, where he dealt with rearrangement of all railway nodes and junctions in Moscow. His idea of radial placement of railways throughout the territory of the capital with transitions to metro stations was included in the first general plan for reconstruction of the capital. Following his recommendations, Nizhny Novgorod, Saratov, Leningrad, Zaporozhye railway junctions were rebuilt, and transport junctions of Kuznetsk and Donetsk coal basins were reconstructed. He was a member of the technical council of Dneprostroy and designed Uralmashzavod. Obratsov was a member of the State Planning Committee of the USSR, since 1939 he was head of the section for scientific development of transport problems of the AS of the USSR, and deputy chairman of the Council of branches and bases of the AS of the USSR (1942–1949). The scientist was awarded the Order of Lenin (1935, 1944, 1949), the Order of the Red Banner of Labour (1939), the Order of the Patriotic War of the 1st degree (1945), the medal «For the Defence of Moscow» (1945). He had the personal title of director general of traffic of the first rank.

ACTIVITIES DURING EVACUATION PERIOD IN THE URALS

In 1942, Vladimir Obratsov, together with the Presidium of the Academy, was evacuated to Sverdlovsk and entered the academic commission for mobilising the resources of the Urals for the defence of the country. The commission within its activity developed measures related to development and reconstruction of railway transport in the Urals

(Baikov, Gritske, 1942 [14]). V. N. Obratsov promptly studied the specifics of the Ural railways and highlighted the need for their radical restructuring (Obratsov, 1943 [15]) to achieve orderly evacuation of enterprises and human flows to the eastern regions and long-distance transportation of coal from Kuzbass to Ural enterprises.

Tagil industrial region was among most loaded transport hubs in the Urals. According to some reports, at the beginning of the war, over ten thousand wagons of evacuated equipment and population arrived in Nizhny Tagil, which proved impossible to be quickly unloaded. The history of our family, evacuated from Kursk to the village Laya near Nizhny Tagil, is also connected to this gigantic railway congestion. Our father Pavel Roshevsky at that time served in Kursk military hospital No. 1932, which, evacuated, was moving to the Urals. The train with wounded soldiers in Nizhny Tagil stood for so long that the father, having received a dismissal, got to the village Laya and spent several hours with his family. When he returned to Tagil, the train was still awaiting further dispatch. He recalled this in 1944: «From Kursk, destiny, or rather military service, carried me far, first to the Urals, where I was with Kursk hospital. There, in the Urals, quite unexpectedly, I met my family, the fate of which I did not know for several months. The occasion sent me exactly in the direction where the family was. The meeting was unexpected and joyful» (GASPITO, F. 4060, L. 1, D. 2, S. 25).

The study of transport provision of Tagil industrial region obviously showed the overload of the railway. Under the leadership of V. N. Obratsov, intra-node and main cargo flows were calculated, the operation procedures for about 20 stations were determined. He proposed to urgently build a small rail insert to the line to Nizhny Tagil, so that trains from Nizhny Tagil could easily leave the congested section. In 1942, V. N. Obratsov was awarded the Stalin Prize of the first degree for his work «On Development of the National Economy of the Urals under War Conditions».

V. N. Obratsov's appointment to Syktyvkar was caused not only by the illness of Academician A. E. Fersman. The situation was determined by the interest of the leadership of the Komi ASSR in consultations related to commissioning of the strategic North-Pechora railway, which supplied coal and oil to the

centre of the country and Leningrad. No wonder that the Council of Ministers of the Komi ASSR in 1943 corresponded with V. N. Obratsov on scientific and organisational issues.

On December 21, 1944, the Presidium of the USSR Academy of Sciences appointed V. N. Obratsov director of the Base of the USSR Academy of Sciences in the Komi ASSR. But wartime conditions developed in such a way that Obratsov, due to the enormous volume of work performed within the USSR Academy of Sciences, could not permanently be in Syktyvkar.

The arrival of Vladimir Nikolaevich in the Komi ASSR in August 1945 was organised in connection with the government decision to solemnly celebrate the 220th anniversary of the USSR Academy of Sciences (NA Komi SC of the UrB of the RAS, F. 1, L. 1, D. 123, S. 8). In Syktyvkar, on August 24, an anniversary meeting of the Academic Council was held, as noted in the minutes, «in the presence of V. N. Obratsov» (NA Komi SC of the UrB of the RAS, F. 1, L. 1, D. 110, S. 6, 15). Several employees of the Base of the Academy of Sciences in the Komi ASSR were awarded certificates of honour of the Presidium of the Academy of Sciences of the USSR «for good conscientious scientific work, accurate and honest fulfilment of various production tasks» (Roshchevskaya, Brovina, 2009 [16]). The agenda of the session of the Academic Council included a discussion on the results of the activities and the issues and topics of the activity plan of the Base for 1946. Based on the other documents of the Scientific archive of the Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, it is clear that several employees, «taking advantage of the presence at the Base» of the director, asked to be relieved of their post, citing the domestic disorder and the absence of scientific literature in the city's libraries» (NA Komi SC of the UrB of the RAS, F. 1, L. 19, D. 40, S. 8).

TRIP TO THE NORTH OF THE KOMI ASSR

Regional authorities used the visit of V. N. Obratsov to acquaint him with the conditions prevailing on the North-Pechora railway with regard to its upcoming reconstruction (completion). Detailed information about this trip to the north of the republic has not been preserved, but it is known that he visited Vorkuta, Abez, Ukhta and Knyazhpogost. The Academician advised builders on various issues: embankment



strengthening, reconstruction of railway bridges, arrangement of siding tracks, etc. «Now, by the way, the question is whether the second track should be laid on the Vorkuta line, wrote V. N. Obratsov. But there are our heaviest rails IA, and the locomotives are the lightest ones. Why is that? Because we laid the heaviest rails and did not lay the real ballast. The ballast is bad there, and in many cases, there is no ballast at all. If we lay down the ballast, we will be able to dramatically increase the transit capacity of our Pechora railway. These questions now occupy our attention, and in the future the entire railway policy of the Soviet Union will go in this direction» (NA Komi SC of the UB of the RAS, F. 1, L. 1, D. 98, S. 14). As it can be seen, on a trip to the north of the republic, Academician Obratsov performed expert functions.

The end of V. N. Obratsov's trip to the industrial regions of the north of the Komi ASSR coincided with promulgation of the government's decision on August 19, 1945, to prepare the fourth five-year plan for reconstruction of the national economy.

It is worth mentioning that Obratsov had been thinking about the problems of post-war reconstruction of the war-torn economy for a long time. At Moscow Institute of Railway Engineers in 1944, at the first meeting of a special seminar on the study of scientific and technical problems of the post-war development of transport in the USSR, the Academician made a report «The interaction of various modes of transport, the prospects for work and development of certain modes of transport in the USSR». The report spoke of a significant increase in the role of road transport, air transport, and pipelines.

In the Komi ASSR, Obratsov continued to develop projects for the post-war development of all modes of transport, primarily railways. He foresaw difficulties in discussion on the planned five-year plan: «Now some guidelines are only outlined and proposed by the government for inclusion in the five-year plan» (NA Komi SC of the UrB of the RAS, F. 1, L. 9, D. 53, S. 20).

REPORT AT THE MEETING OF THE PARTY ACTIVISTS OF SYKTYVKAR

Vladimir N. Obratsov announced some of his ideas in August 1945 at a meeting of the party activists of the city of Syktyvkar, focusing on transport support of the industrial regions of the Komi ASSR and the role of the North-Pechora railway (NA Komi SC of the UrB of the RAS,

F. 1, L. 9, D. 53, S. 20). The attendees included the secretaries of the primary party organisations and the leaders of the groups of the system of party-political education.

The speaker started his speech with the thesis that, despite the total nature of the past war, the inextricable link between the battlefield and the home front, and the railways built during war years, ensured the victory. As an example, Obratsov mentioned the railway «from Kotlas to Konosha and further along Arkhangel'sk railway with further branch to Murmansk»: «If we had not built these two railways, then in fact we would have lost Murmansk. This is a strategic railroad and here it was impossible to count on whether it would be profitable or unprofitable to build» (NA Komi SC of the UrB of the RAS, F. 1, L. 9, D. 53, S. 13).

The Academician told in detail what changes will take place on railway, water, road, and air transport. He believed that in the Komi ASSR «aviation transportation will develop strongly», new modes of transport will appear, such as pipeline, that it is necessary to develop mechanisation of construction and loading and unloading operations in transport (NA Komi SC of the UrB of the RAS, F. 1, L. 9, D. 53, S. 16).

The main task of development of transport in the Komi ASSR, in his opinion, was due to proximity to the «magnificent iron ores on the Kola Peninsula» and the northern Urals. But these areas do not have the energy to process them. In order for the republic (as an intermediate link) to ensure the existence of two closest neighbours, «it is necessary to build a new line» (NA Komi SC of the UrB of the RAS, F. 1, L. 9, D. 53, S. 17) and «it is possible that in the next five years there will be a question about the line from Kozhva to Ivdel» (NA Komi SC of the UrB of the RAS, F. 1, L. 9, D. 53, S. 19).

Obratsov connected development of transport with the problems of demography: «... creation of the Pechora railway almost doubled the population of your region and in the future we will certainly have to populate the region [...], in particular, your region – the Komi Republic, northern Siberia, etc.» (NA Komi SC of the UrB of the RAS, F. 1, L. 9, D. 53, S. 14).

The report ended with an optimistic statement that many tasks will have to be solved in the next five years, since it is necessary «to develop the industry of the entire republic, to raise it to such a level that it turns from an almost agrarian and forestry region into an

industrial and agricultural country». «You cannot have a capital that is not connected by transport with the industrial enterprises that it owns. You need to have a connection with Kotlas, with Troitsko-Pechorsk, you will have to build Shies–Syktyvkar railway» (NA Komi SC of the UrB of the RAS, F. 1, L. 9, D. 53, S. 19). The mention of Shies railway station in Lensky district of Arkhangelsk region was explained by the territorial proximity to the border with the Komi ASSR, only 4 km or 7 km by rail. «We believe», the speaker summed up, «that Ivdel line and Shies–Syktyvkar line should be of the highest priority» (NA Komi SC of the UrB of the RAS, F. 1, L. 9, D. 53, S. 20).

In essence, the scientific and propaganda performance in front of the city's party elite went beyond the genre. Comparing the state of transport in the largest countries of the world, the speaker showed the prospects for economic development of the country and the region in connection with the growing role of almost all modes of transport as of an infrastructure for development of productive forces.

The study of the country's natural productive forces in the system of the Academy of Sciences was carried out by researchers united on the initiative of Academician V. I. Vernadsky in 1915 in the Commission for the Study of Productive Forces (KEPS), since 1930 called the Council for the Study of Productive Forces of the AS of the USSR (SOPS). V. N. Obratsov participated in its work almost from the very start of its activity as can be seen from some of his publications in the works of the State Planning Commission. SOPS not only organised expeditions, including the North Ural expedition (1924–1928), North Ural quartz expedition (1932–1934), Ural complex expedition (1939–1945), but also held scientific conferences on the study of productive forces in different cities. As a rule, they only provided extensive material on a specific territory, but did not touch on inter-regional problems.

One of these All-Union scientific conferences on the study of productive forces took place in the city of Molotov (as Perm was called in 1940–1957) in November 1945. The conference was attended by the vice-president of the USSR Academy of Sciences, Acad. I. P. Bardin, Academicians B. E. Vedenev, D. N. Pryanishnikov, S. G. Strumilin and V. N. Obratsov. The subject of V. N. Obratsov's speech was the growing role of development of transport

on the territory of the Komi ASSR in the country's economy. Following the conference, the texts of reports (Conference, 1947 [17]), decisions and resolutions (Proceedings, 1947–1948 [18]) were published.

The fact that the report of V. N. Obratsov was published as a separate book is evidenced by the summary made by the head of the economic group of the Base of the Academy of Sciences of the USSR in the Komi ASSR, a graduate of Leningrad Institute of National Economy S. F. Popov. Information about Popov himself is sketchy. Before the war, he worked in planning bodies in the Far East, in Saratov and Kirov, dealing with long-term planning and economic feasibility regarding construction of new enterprises. Contemporaries noted that Popov managed to significantly replenish the scientific library of the Base of the Academy of Sciences of the USSR in the Komi ASSR with books on the timber industry and transport, but on December 23, 1947, he died (NA Komi SC of the UrB of the RAS, F. 1, L. 1, D. 108, S. 1–3).

The abstract is based on a book printed by the publishing house of the Academy of Sciences (Obratsov, 1945 [19]). Popov highlighted 20 headings, including those on long-term projects, prospects development of railway, water, road, and air transport (NA Komi SC of the UrB of the RAS, F. 1, L. 9, D. 68, S. 1–19).

The search for this publication was not crowned with success, which increases the significance of the synopsis of one of the works of Academician V. N. Obratsov kept in Syktyvkar. The report was so informative and wide-ranging that it was also published as an independent publication in the city of Molotov. Thanks to the head of the local history department of Perm Regional Universal Library named after M. A. Gorky Ya. E. Araptanova, it became possible to find this edition (Obratsov, 1945 [20, p. 13]), which can be considered as a thesis version of the previous publication.

It should be recalled that the report took place at the end of the victorious 1945, when the country was still in ruins. Therefore, the prospects for development of transport after the war, presented by the Academician, certainly made a strong impression on the audience and readers. For the purposes of our historical and biographical research, we emphasise that the speech was aimed at development of the economy of the Komi ASSR.



Obraztsov argued that the national economy and transport of Molotov region cannot be considered in isolation from neighbouring regions. The national economy and transport of the Komi ASSR, Sverdlovsk, Arkhangelsk, Vologda, and Kirov regions are of decisive importance for its development. The Great Patriotic War dramatically changed and advanced the economy of this region. During the war years, extensive development of the coal, oil, and gas industries in the Komi ASSR was carried out and the North-Pechora railway was built, «which completed the design of a large energy centre in the North-East of the European part of the USSR».

«The presence of large reserves of high-value ore, heat- and energy-intensive raw materials on the Kola Peninsula, on the eastern slope of the Ural ridge, i. e., just on both sides of the energy centre, necessary for processing them (the Pechora basin and the Vorkuta coking coals) should be used. This raises the question of immediate development and partial construction of the Kola-Pechora group of enterprises as soon as during the upcoming five years (and in the future, implementation of the Ural-Pechora group of enterprises will be on the agenda), using the energy centre of the Komi ASSR, sea routes for export and intra-union relations for the Kola-Pechora-Ural complex as a whole». The construction of the largest hydroelectric stations in the areas of Molotov, Solikamsk, Pechora and Vychegda «will significantly change the energy of the region, the conditions of water transport, the position and area of flooding» (Obraztsov, 1945 [20, pp. 4–5]).

To expand economic ties with Leningrad, Murmansk, Arkhangelsk and develop international relations, the planned «construction of a port in Indiga and Kozhva–Tsilma–Indiga railway line connecting this port to the railway network» can be used. The village of Indiga of Nenets National District, has a convenient geographical position on the eastern coast of the Barents Sea at the mouth of the river of the same name, is located in the permafrost zone, but the bay nearly does not freeze. It can be used to create a well-protected year-round port, accessible to ocean-going ships, since the sea depth is quite significant here, and port facilities can be built over a large area of the bay. In addition, there were no significant fluctuations in the water level during river floods and sea

tides, which does not complicate the work of the port. Since the end of 19th century, the region attracted the attention of economists for creation of a free port (*porto franco*), e. g., a harbour into which the import and export of foreign goods is allowed duty-free (Ioganson, Beloborodov, 1928 [21]).

V. N. Obraztsov had first expressed the idea of building a seaport and a railway to Indiga previously at the mentioned meeting of the party activists of Syktyvkar: «It will be not-freezing port, it will operate much longer than Arkhangelsk, maybe ten months, and under some conditions even all year round» (NA Komi SC of the UrB of the RAS, F. 1, L. 9, D. 53, S. 18).

To radically improve the waterways of the Kama, Pechora and Vychegda basins, the proposed project for construction of three dams on the Kama, Pechora, and Vychegda rivers, associated with creation of large reservoirs, does not complicate further construction of a railway line from Molotov region through Kozhva to Indiga.

The creation of a powerful energy centre in the area of the North-Pechora railway, in his opinion, was possible because the Vorkuta basin is located between «two areas of ore mining that are insufficient in coke (in the Urals and on the Kola Peninsula)». «To connect the Vorkuta coal basin with the areas of iron ore deposits, it is necessary to build new railways»: from Kozhva to Indiga towards the Kola Peninsula and from Kozhva to Ivdel and Solikamsk. The Barents Sea should play an important role in the transportation of coal after construction of ports in Khabarov and Indiga». On the other hand, the Academician made a proposal to build «a metallurgical plant in the Vorkuta region (for example, near Kozhva) to reduce the runs of coal and create a bidirectional transport system intended for coal transportation to the Urals and of ore to Kozhva, which could serve as the basis for the future Ural-Pechora group of enterprises (Obraztsov, V. N. Complex, 1945 [20, p. 5]).

According to V. N. Obraztsov, it was most expedient to design the connection of Molotov region with the North-Pechora line and subsequently with Indiga in the direction from Solikamsk to the area northeast of Kozhva, along the right bank of the Pechora, which would allow the use of nearby coal sites on the western slopes of the Urals and solid woodland,

not available yet for transportation. First, it is necessary to build a line from Kozhva to Ivdel, with the passage through the Urals north of Vishera, since this direction captures the largest riches of mineral raw materials (manganese, iron ores, bauxite, gold) and allows exploration of woodland in the north of Sverdlovsk region. Regardless of this, movement of Siberian timber for export is desirable to be provided with the line Samarovo–Kozhva–Ivdel.

V. N. Obratsov emphasized the «exceptionally great» role of creation of the Ural-Pechora group of enterprises in the northeast of the European part. According to him, the issue of the Ural-Pechora group of enterprises is at a stage when «it is imperative to carry out a number of detailed calculations, research and design work». It is necessary to «take an organised approach to practical development of the problem of the whole Ural-Pechora group of enterprises». To increase the load capacity and speed of trains, Obratsov spoke in favour of making the rail track heavier, expanding the railway track, and laying second rail tracks. Drawing attention to construction of a highway for road transport, he reiterated how urgent it is to improve the technique of loading and unloading operations.

The main idea of the report focused on the need for energy supply of transport. At the same time, the Academician recognised that dams and reservoirs would greatly complicate construction of railways, increase their length and the cost of operation.

Thus, after a trip to the Komi ASSR, V. N. Obratsov summarised necessary improvements to the North-Pechora railway, formulated its strategic importance and economic prospects for its use. The Academician developed and put forward a comprehensive plan for development of the largest railway centres in the European North and the Urals. The speech in the city of Molotov reflected these innovative positions of Obratsov.

The Academician understood that not all his projects would be accepted and foresaw difficulties in discussing the planned five-year plan: «Can you imagine how many disputes and conversations there will be?» (NA Komi SC of the UrB of the RAS, F. 1, L. 9, D. 53, S. 20).

In the «Law on the five-year plan for reconstruction and development of the national economy of the USSR for 1946–1950», adopted on March 18, 1946, the main attention

was paid to reconstruction of the destroyed western and southern regions of the country. However, the plan set another task. To bypass the overloaded railway junctions of Nizhny Tagil and Sverdlovsk and connect the ore-rich industrial points of Sosva and Alapaevsk, Sosva–Alapaevsk line was put into operation in 1947. Thus, a new meridional line was completed, linking the South Urals (Chelyabinsk) with the industrial regions of the Northern Urals.

Obratsov advocated development of industry and transport in the European North. Possessing a powerful analytical mind, Academician Obratsov understood that his own projects were global in nature. Nevertheless, it was during the period of widespread discussion of the draft of the fourth five-year plan that he initiated projects that were more distant for implementation. These tasks are of great scientific value as programs for development of the territory of the North and the Arctic, but they have not yet been implemented.

CONCLUSIONS

The post-war projects of railway construction developed by Academician V. N. Obratsov make it possible to re-evaluate his work in relation to the northern (polar) areas. V. N. Obratsov considered the territory of the Komi ASSR to be the main area for development of the economy and transport of the European part of the USSR.

Obratsov can be referenced as the expert who influenced the projects and practices of development of the North. V. N. Obratsov developed the necessary logistics for implementation of the first programs for construction of railways, since he recognised the preferable convenience of the areas that are close to the main areas where construction materials, hydrocarbon raw materials are concentrated, and that possess sufficient labour force. To provide the economy with uninterrupted transportation, he considered it necessary to lay rational routes, develop railway transport, create transport corridors, and minimise transport costs. Obviously, Vladimir Nikolaevich Obratsov is a major figure in development of logistics transport infrastructure.

Academician Obratsov initiated distant projects which, due to objective circumstances, have not yet been implemented. But his programs for development of the territory of the





North and the Arctic are of great scientific value and are especially relevant in the 21st century.

REFERENCES

1. Slavin, S. V. Industrial and transport development of the North of the USSR [*Promyshlennoe i transportnoe osvoenie Severa SSSR*]. Moscow, Economizdat publ., 1961, 302 p.
2. Kovalev, I. V. Transport during the Great Patriotic War (1941–1945) [*Transport v Velikoi Otechestvennoi voine (1941–1945)*]. Moscow, Nauka publ., 1981, 480 p.
3. Kalemeneva, E. A. Changes in development models of the Siberian North in the 1950s [*Smeny modelei osvoeniya Sibirskogo Severa v 1950-e*]. *Siberian Historical Research*, 2018, Iss. 2, pp. 181–200.
4. Kiselenko, A. N. On development of the transport system of the European North of Russia [*O razvitiit transportnoi sistemy Evropeiskogo severa Rosii*]. *Regional economy: theory and practice*, 2014, Iss. 11 (338), pp. 2–11.
5. Kuratova, E. S. Methodology of economic assessment of commodity exchange processes for the purpose of improving spatial organisation of transport. Abstract of D.Sc. (Economics) thesis [*Metodologiya ekonomicheskoi otsenki tovaroobmennyykh protsessov dlya tselei sovershenstvovaniya prostranstvennoi organizatsii transporta. Avtoref. dis ... dok. ekonom. nauk*]. Moscow, MIT publ., 2010, 48 p.
6. Kuratova, E. S., Roschevsky, M. P., Roshchevskaya, L. P., Elkin, A. Yu. Design and construction of railways in 19th–early 20th century. Design and construction of railways after 1917 [*Proektirovanie i stroitelstvo zheleznykh dorog v XIX-nachale XX v. Proektirovanie i stroitelstvo zheleznykh dorog posle 1917 g.*]. Atlas of the Komi Republic. Moscow, DIK publ., 2001, pp. 306–307, 428–429.
7. Vaneev, A. Vladimir Nikolaevich Obraztsov. Republic of Komi: Encyclopedia. Vol. 2. Syktyvkar, Komi book publishing house, 1999, 576 p.
8. Silin, V. Academician Vladimir Nikolaevich Obraztsov. *Svyaz' vremen*. Eds. Zherebtsov, I. L., Kurochkin, M. I. Syktyvkar, Fund «Pokoyanie», 2000, 863 p.
9. Sivkova, A. N. Way to Ust-Ukhta [*Put' na Ust-Ukhtu*]. *Dym Otechestva. Book. 11, 2012*. Syktyvkar, Komi Republican Printing House LLC, 2017, 640 p.
10. Samarin, A. V. History of the Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the USSR Academy of Sciences: Formation and Development (1944–1991). Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Syktyvkar, 2006, 236 p.
11. Vladimir Nikolaevich Obraztsov. Entry article by Zvonkov, V. V., Klyucharev, V. P. Moscow, Publishing house of All-Union book chambers, 1944, 32 p.
12. Shishkin, N. I. Scientist patriot. 75th anniversary of the birth of V. N. Obraztsov [*Ucheniy patriot. 75 let so dnya rozhdeniya V. N. Obraztsova*]. *Za noviy Sever*, 18.06.1949.
13. Obraztsov Vladimir Nikolaevich [*Obituary*]. *Za noviy Sever*, 30.11.1949.
14. Baikov, A., Gritske, E., Obraztsov, V. Resources of the Urals [*Resursy Urala*] [*On the work of the Commission of the Academy of Sciences of the USSR on the study and mobilisation of industry, energy, and transport resources*]. *Izvestia*, 14.03.1942.

15. Obraztsov, V. N. Transport of the Urals [*Transport Urala*]. *Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR*, 1943, Iss. 4–5, pp. 52–57.

16. Roshchevskaya, L. P., Brovina, A. A., Samarin, A. V., Chuprova, E. G. Documentary history of the Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences: Komi Branch of the USSR Academy of Sciences in 1944–1964. Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Syktyvkar, 2009, 456 p.

17. Conference of the USSR Academy of Sciences on the study of the productive forces of Molotov region. November 26–December 4, 1945. Rulings and Resolutions. Molotov, 1947, 146 p.

18. Proceedings of the conference on the study of productive forces of Molotov region. November 26–December 1, 1945. National economic problems of Molotov region. In 2 volumes. Moscow-Leningrad, Publishing house of the Academy of Sciences of the USSR, 1947–1948.

19. Obraztsov, V. N. Complex development of transport in Molotov region [*Kompleksnoe razvitiie transporta Molotovskoi oblasti*]. Report at the conference on the study of productive forces of Molotov region on November 27, 1945. OGIZ, Molotov region publishing house, 1945, pp. 4–5.

20. Obraztsov, V. N. Complex development of transport in Molotov region [*Kompleksnoe razvitiie transporta Molotovskoi oblasti*]. Abstracts of the report at the conference on the study of productive forces of Molotov region November 26–December 1, 1945. Moscow-Leningrad, Publishing house of the USSR Academy of Sciences and Molotov Regional Executive Committee, 1945, 38 p.

21. Ioganson, E. G., Beloborodov, V. Ya. Port of Indiga. Considerations about railway construction to the port of Indiga and about cargo flows to it [*Port Indiga. Soobrazheniya o zheleznodorozhnom stroitelstve k portu Indiga i o gruzovykh potokakh k nemu*]. Preface by G. M. Muravyov. Ust-Sysolsk, Publishing house of Regional Executive Committee of aut. region Komi, 1928, 56 p.

LIST OF ARCHIVAL DOCUMENTS

State archives of the social and political history of Tyumen region (GASPITO), fonds (F). 4060, Listing (L) 1, Document (D) 2, Sheet (S) 25.

Scientific archives (SA) of the Federal Research Centre «Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences» (FRC «Komi SC of the UrB of the RAS»). F. 1, L. 1, D. 98, S. 14.

SA of the FRC «Komi SC of the UrB of the RAS». F. 1, L. 1, D. 110, S. 6–15.

SA of the FRC «Komi SC of the UrB of the RAS». F. 1, L. 1, D. 123, S. 8–19.

SA of the FRC «Komi SC of the UrB of the RAS». F. 1, L. 1, D. 196, S. 1.

SA of the FRC «Komi SC of the UrB of the RAS» F. 1, L. 9, D. 53, S. 1–20.

SA of the FRC «Komi SC of the UrB of the RAS» F. 1, L. 9, D. 68, S. 1–19.

SA of the FRC «Komi SC of the UrB of the RAS» F. 1, L. 19, D. 40, S. 8. ●

Information about the authors:

Roschevskaya, Larisa P., D.Sc. (History), Chief Researcher at the Unit of the Interdisciplinary Humanitarian Research of the Federal Research Centre «Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences», Syktyvkar, Russia, lp38rosh@gmail.com.

Roschevsky, Mikhail P., D.Sc. (Biology), Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Chief Researcher at the Institute of Language, Literature and History of the Federal Research Centre «Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences», Syktyvkar, Russia, roshmp@mail.ru.

Article received 14.03.2021, approved 18.05.2021, accepted 30.06.2021.



Technical Railway Schools and Railway Trade Courses



News from the archives

The article in *Rail Business [Zheleznodorozhnoye Delo]* published 110 years ago, in 1911, analysed in detail the organisation, in modern terms, of professional training and high vocational education of railway employees. Besides, it contains the opinion on curriculum, range of taught disciplines, qualifications, competences, and skills.

Keywords: history, railway, training, vocational school, technical school, training courses.

In his solid work «Railway Confusion», the experienced railway employee N. P. Verkhovskoy expresses the correct thought: «management of railways is entitled with a very special task, which in its seriousness constitutes alpha and omega of the entire railway business – this is precisely development of a systematic organisation of schools and courses, so widespread that not a single railway job position of any technical nature, in the universal sense of the word, might be occupied on the railways by anyone other than a person specially trained to get it». It is absolutely true. Not to mention the higher and middle railway agents, even the lower ones must be sufficiently developed, well-

literate and with special knowledge to correctly understand and conscientiously, confidently perform their complex and difficult duties of a technical nature. Of the list of lower, but very responsible, positions, it is necessary to indicate: in the track maintenance service – the positions of senior railway foremen, road foremen, artel elders (senior workers); in the service of rolling stock and traction – steam locomotive drivers and their assistants, foremen, fitters (headmen) of section workshops, drivers of permanent cars of workshops and water pumps, technical agents for transfer of wagons, inspectors of wagons, etc. To train young people who, after completing the course and internship,

For citation: Technical Railway Schools and Railway Trade Courses. *World of Transport and Transportation*, 2021, Vol. 19, Iss. 3 (94), pp. 275–278. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-14>.

Acknowledgements. The editorial board expresses its gratitude to the staff of the library of Russian University of Transport for their assistance in preparing the publication.

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.

can occupy the listed positions, the Government opened technical railway schools, according to the regulation of 1886. At present, there are 41 technical railway schools. This, a very small number of schools, graduates from their walls a very small and completely insufficient number of persons holding technical positions on the railways. And preparation for practical, conscious activity of graduates of technical railway schools is insufficient. Technical railway schools during their existence have provided many workers in the railway field. Some of them turned out to be very useful for the business, and for some, and, in my opinion, much larger part, it is difficult to consider what, in fact, technical schools gave them. Outstanding in their abilities, former students at technical railway schools should be placed along with good engineering practitioners, for example, in Bologoye of Nikolaevskaya railway, in workshops for overhaul of steam locomotives, master technician K. M. Mikhailov is excellent in engineering for major repairs of steam locomotives. But most of the «technicians» (former pupils of railway schools) have little special railway training, their literacy and general development are very mediocre. Those who graduate from the course of technical schools are inclined to emphasise that they have received a special education and, therefore, in their opinion, they should receive more benefits for promotions and perform easier service. I remember many such claims of «technicians» from my own practice. For example: I assign an assistant driver from the «technicians» to a steam locomotive with coal heating (in the presence of coal and oil steam locomotives); the «technician» comes up with a statement that I should not have appointed him to the difficult job on a coal locomotive, and that is only because he graduated from a technical school. Such an employee does not at all consider the fact that often during a big traffic there is no time to sort out which of the agents to appoint to difficult work, and which to simpler job. Besides, the provision of special privileges to «white-handed technicians» is inconvenient and makes a negative impression with the employees. Apparently, in technical schools, there is an incorrect formulation of the business and a discrepancy between teaching programs and

the goal of providing advanced technicians for occupying lower railway positions. The curricula do not contain general education subjects, except for mathematics, which is taught in the smallest amounts. Due to this, the «technicians» are underdeveloped and poorly literate. It might be supposed that at the expense of general educational subjects, special subjects are passed well and can be practically applied in the future: steam mechanics and structures of steam locomotives, railway business, telegraphy, etc., but it is not so in reality. Further, it is bad that the students are not divided according to specialties, into those preparing for the activity: 1) in the traction, and 2) in the track maintenance service; time is not enough, only three years, meanwhile, all students must study in the same amount specialties of both track maintenance service, and of traction service. The results are deplorable. To prove the latter, I will point out the following phenomenon, which I noticed in practice: at examinations in the traction service regarding the positions of assistant drivers, the right to independently control a steam locomotive, the right to accompany trains (passenger) of high speed – to questions regarding arrangement of steam locomotives, their operation, etc. – «technicians» answer no better than ordinary locksmiths of locomotive workshops who have not received any special technical education. And those «locksmiths», or former locksmiths and now practicing agents who got familiar with available manuals for the locomotive service of Bem, Artsish, Kuznetsov, Golubev, etc., and treated the matter with interest and attention during the repair of locomotives, – reveal a more thorough, efficient, and conscious acquaintance with arrangement of a steam locomotive than «technicians». As for acquaintance with the methods of repair, in various cases of breakdowns of parts of the locomotive, then, of course, former locksmiths have got more of it than «technicians». From what has been said, it must be concluded that the special knowledge of the «technicians» on design of a steam locomotive is far from satisfactory. A little knowledge, suitable for business, according to the opinions of competent persons, is given by technical schools in other special subjects. A lot of time is spent by

students at technical schools for practical classes in carpentry, blacksmith's and locksmith's crafts. With a rational formulation of the business, practical exercises should be of great benefit. But unfortunately, the results are bad here too. Technical schools produce very bad locksmiths, while in the traction service at lower technical positions, for example, of drivers and their assistants, there should be persons who know well the locksmith trade. One involuntarily has to give preference to practitioners-drivers and their assistants over «technicians», especially since the best locksmiths distinguished by their work and other merits (perfect sobriety, diligence, and so on) are admitted to the exam to apply for the position of assistant driver.

The organisation of business in technical schools and teaching programs are obviously unsatisfactory. I will not dwell on the project of desired transformations of railway schools, but I will only point out what unsatisfactory organisation of the business has led to. The need for the developed technicians at lowest positions is great in the railway business, while technical railway schools do not satisfy the needs, therefore, I think, on various railways, both public and private, special courses have appeared for preparation of persons suitable to occupy various lower technical railway positions. The Ministry of Railways and administrations of many railways and individuals have decided to meet the urgent challenge. I do not have an exact list of various courses, but I list only those that were discussed in the literature that fell into my hands. For training of railway workshop masters, Warsaw-Vienna Railway has long since opened 4-year courses in Zhbikov. At Kozlov station, Ryazan-Ural railway administration opened a school for training of experienced workers of various occupations. There are evening courses on the Southwest railways. Excellent St. Petersburg railway courses were opened for training traffic agents, also were opened trade courses on the former Kharkov-Sevastopol railway, telegraph schools on the former Yugo-Poltava railway, railway courses for training traffic agents on Ryazan-Ural railway along with similar courses on the South-Western and Transcaucasian railways, a telegraph school on Riga-Oryol

railway, evening courses for repair workers on Tashkent railway, etc.; this information is obsolete and incomplete.

The Ministry of Railways has developed a special provision on craft courses. Based on this provision, in January 1904, 2-year trade courses were opened at Bologoye station of Nikolaevskaya railway, at the locomotive overhaul workshops. It seems that nothing has appeared in the newspapers about these courses yet, so I will dwell on the description of their functioning in detail. It is possible that at present the matter has changed in some details; I can give accurate information for the years 1904–1905, when I was a teacher of special subjects, head of graphic arts and secretary of the Pedagogical Council of these courses. The course is attended by young locksmiths and students of locomotive workshops. Admission to the courses is carried out according to the entrance exam in the Russian language and arithmetic. The age of first-year students ranges from 17 to 20 years old (young people are adults, and conscious ones). The number of students was equal (in 1904–1905) to 20–22 per each course. Most of the students before admission studied at the local lower school, many of them completed the full course (6 parts; some left after studying the 6th, 5th and 4th parts). Regular daily classes in the courses are held during the workshop hours – on those days of the week when work is done in the workshops, from 4 to 6 pm and on Sundays and holidays from 12 to 2 hours. On Sundays, descriptive general subjects are taught in both courses: the law of God and national studies; course listeners are released half an hour before the start of the course to go home; in that half hour they must wash their face and hands and put on a clean dress. The courses have their own special premises, although they are insufficient in size (and hence, the limited admission of students). The local head of the traction service section oversees the courses (he is also the head of overhaul workshops for steam locomotives). The teachers are three technology engineers from the traction sectional administration, and three teachers are from the local city school. Classes are held from September 1 to June 1. In 1905, the exams and the first graduation of the students were done in May (with intensified



studies in the second year, up to 4 hours a day – in the last months), i. e., ahead of time, due to the fact that there was a special need for driver assistants for the section, and all those who graduated from the courses in 1905 were tested as driver assistants immediately after completing the course. It is interesting to summarise what and to what extent the students of the courses managed to get acquainted with over the past two years. In the first year the following subjects were taught: the law of God, the Russian language, national studies, arithmetic, geometry, drawing and drafting; in the second year – except for the subjects of the first year: metal technology and technical physics. As for the law of God, the students have passed in two years, in an shortened form, but thoroughly: the history of the Old and New Testaments, Divine services, the catechism and the history of the church. In the Russian language, to which special attention was paid, they went through: etymology, short syntax, brief concepts from the theory of literature. The students have acquainted with the best works of Russian literature, wrote many essays, – for the most part they expounded the content of the read works of Russian literature in their own words. In national studies they have acquainted with the geography of Russia, in connection with acquaintance with the industry and trade of various regions of Russia, and a brief Russian history. In arithmetic they have learnt operations with prime and named numbers, simple decimal and periodic fractions, proportions, percentages, a simple triple rule. For two years, students have solved a lot of problems in all sections of arithmetic and the calculation of algebraic formulas. Problems of a special nature were also solved, for example, calculating the traction force of a steam locomotive, calculating a premium for fuel for steam locomotive crews, etc. Planimetry and stereometry have been learnt in geometry. The stereometry has been learnt in brief and without proofs. Many calculation and construction problems have been solved by the course attendees as well. In drawing, it has been achieved that the students have a decent command of a pencil. The students have been taught drawing techniques, and they made many drawings of simple machine parts. When drawing the details, the teacher familiarised

them with the design features of these machine parts; the students learned to read the drawings in a decent manner. The course students were briefly introduced to the technology of metals. Physics was taught under the name «technical physics» in parallel with mechanics and special subjects. The following has been mastered: forces, balance of solid, liquid, and gaseous bodies, heat, balance of forces using examples of simple machines. Many problems have been solved regarding specific weight, leverage theory, etc. The students have been given introductory notes on special subjects: steam boilers, their main types and parts of a steam engine, and the division of steam engines into main types. The acquaintance with steam engines and boilers has been made in brief and only to prepare the students for a detailed acquaintance with the structure and operation of steam locomotives. The teaching on construction of steam locomotives was carried out according to the factory drawings, and visually – on the steam locomotives of the site and according to models, for example, an excellent model of steam distribution in a steam locomotive in $\frac{1}{10}$ of the life size was made, and it was demonstrated in motion. Special information was given about refuelling steam locomotives, flushing, etc. The results achieved by the courses have been quite satisfactory. The courses have made underdeveloped and semi-literate young people sufficiently developed and, of course, literate, able to express their thoughts orally and in writing freely and sensibly. The railway received theoretically trained practicing locksmiths who, having received the positions of locomotive drivers and others, will be quite satisfactory agents. Many thanks must be said to the Administration of Nikolaevskaya railway for furnishing the courses very well, supplying them with all the necessary teaching and drawing aids, accessories, and books. Taking into account the good results achieved by Bologoye courses, one can express the wish that similar courses be opened on all railways. After all, their maintenance is very inexpensive, and the benefits are enormous.

Engineer V. Mylnikov
St. Zlatoust, Samara-Zlatoust railway
(Zheleznodorozhnoe delo
[Railway Business], 1911,
No. 48, pp. 313–315) ●

T



TRANSPORT AND LAW 280

Reviewing the book depicting legal aspects of prevention of mass contagions in the transport sector: the case of COVID-19 pandemics.



BIBLIO-DIRECTIONS

SELECTED ABSTRACTS OF D.S.C. AND PH.D. THESES SUBMITTED AT RUSSIAN TRANSPORT UNIVERSITIES 283

- *Structural destruction and a methodology for selecting unreinforced stone material for road foundations.*
- *Calculating and designing structural geotechnical massif.*
- *Machine identification of operating modes of rail circuits and ALSC code signals.*
- *Automated fire risk management systems.*
- *Efficiency of automated control of train traffic on railway AC electrified sections.*

NEW BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION 288

List of selected newly published books edited and printed in Russia.





Organisational and Legal Problems in Transport Industry during a Pandemic



Oleg V. DAMASKIN

Oleg V. Damaskin

Institute of State and Law of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

✉ dov39@mail.ru.

Zemlin, A. I., Klenov, M. V., Kholikov, I. V. Organisational and legal problems of preventing the importation and spread of mass infectious diseases in transport industry (the example of COVID-19 coronavirus infection pandemic): Monograph [Organizatsionno-pravovye problemy preduprezhdeniya zavoza i rasprostraneniya massovykh infektsionnykh zabolevanii na transporte na primere pandemii koronavirusnoi infektsii COVID-19): Monografiya]. Moscow, Ru-Science publ., 2020, 126 p. ISBN 978-5-4365-6573-6.

Obviously, on the one hand, transport has become the most vulnerable place for humans due to spread of diseases such as the new coronavirus infection, and on the other hand, transport as an industry has suffered more from the pandemic than other sectors. Moreover, in the case of COVID-19, transport has become a kind of «vehicle» for a new infection between countries and continents. And this situation, quite a new one for the world, has raised many questions

about prevention and organisational and legal problems of importation and spread of diseases that take the form of a pandemic. How should the transport system function in such conditions? How to ensure safety during a pandemic? How to provide medical care to industry employees and passengers? What is the effectiveness of specific legal means to ensure normal operation of the transport system during a pandemic?

Ru-Science editions published the monograph «Organisational and legal problems of preventing the importation and spread of mass infectious diseases in transport industry (the example of COVID-19 coronavirus infection pandemic)» written by a group of authors including A. I. Zemlin, M. V. Klyonov and I. V. Kholikov.

The monograph is devoted to the analysis of the most pressing issues of using legal means to regulate public relations in the field of transportation facing the need to prevent the importation and the danger of spread of coronavirus infection COVID-19.

The article provides a short review of this study.

Keywords: transport, law, pandemic, mass diseases, counteraction, spread, coronavirus infection.

For citation: Damaskin, O. V. Organisational and Legal Problems in Transport Industry during a Pandemic. *World of Transport and Transportation*, 2021, Vol. 19, Iss. 3 (94), pp. 280–282. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-15>.

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 ongoing pandemic of the new coronavirus infection COVID-19, the economic damage from which has yet to be assessed [1], has affected almost all spheres of modern society. The monographic study «Organisational and legal problems of preventing the importation and spread of mass infectious diseases in transport industry (the example of COVID-19 coronavirus infection pandemic)» is devoted to the use of legal means to regulate public relations in the field of transport facing the need to prevent importation and the danger of spread of this disease [2].

The theoretical relevance and practical significance of the monograph under review is determined by the fact that, as it is reasonably noted in the works of representatives of the school of science of transport law, successful functioning of the transport system presupposes not only knowledge by its actors of regulatory legal acts, but also systematic implementation of organisational measures to ensure legality and rule of law in transport sector [3] in the context of countering growing terrorist threats [4; 5], of implementation of measures to ensure safety of transport infrastructure based on doctrinal approaches [6] and of a set of medical and medico-social measures aimed at reducing the risk of emergencies [7], minimising health consequences, maintaining people's health, reducing damage to the environment when using vehicles and transport infrastructure [8], and much more.

The authors also paid attention to the issues of legal regulation of transport relations in the context of implementation of the Transport Strategy of the Russian Federation for the period until 2030, that is, to the issues traditionally related to the subject of research of representatives of the school of transport law [9–11].

It should be noted that organisational and legal issues of ensuring control over the state of health and provision of medical assistance to transport employees and passengers, rendering assistance to foreign states in the fight against pandemics, of international legal responsibility for spread of mass diseases have already become the subject of keen interest for many domestic lawyers and doctors, including

the authors of the monograph [12–16]. However, this study pays significant attention to the problematic issues of functioning of the transport system in the context of COVID-19 pandemic, as well as of ensuring transport security when implementing measures to counter the importation and spread of this infection.

Based on the analysis of organisational and legal foundations of functioning of the system for preventing spread of mass diseases, separate conclusions are drawn regarding the degree of effectiveness of specific legal means to ensure the effective and legal activity of participants in transport legal relations in the context of the ongoing pandemic.

Attention should be drawn to high quality of the research, its interdisciplinary nature. The authors of the monograph freely operate not only with a legal, but also with a medical conceptual and categorical apparatus. In particular, the results of a retrospective analysis of various consequences of epidemics and pandemics of infectious diseases deserve high praise.

The authors of the monograph rightly note that the legal framework that determines grounds, measure, and mechanisms for countering threats to transport security in the framework of a complex epidemiological situation caused by the spread of coronavirus infection (COVID-19) is very diverse and multi-level. Numerous legal acts related to various branches of law do not always meet the requirements of systemic unity, are replete with gaps, lacunes and collisions, which complicates their application.

Based on the results of the study, the authors formulated well-grounded conclusions and proposals, the use of which will undoubtedly increase the efficiency of organising the activities of transport control bodies in the context of introduction of restrictive measures to counteract the importation and spread of infections in Russia. It is worth noting that the authors' recommendations were made considering the experience gained in the context of COVID-19 pandemic.

The monograph meets modern scientific requirements of relevance, novelty, theoretical



and practical significance and, undoubtedly, will be of interest to a wide range of readers, including physicians, lawyers, government officials, researchers, faculty, and students of educational institutions training specialists in the field of organisation of health care, state sanitary and epidemiological supervision, public administration, transport, and national safety and security.

It also seems that the results of the study can become the basis for a scientific discussion on problems related to fundamental approaches, content, mechanisms, and procedures for introducing measures to prevent spread of infections affecting the rights and freedoms of participants in transport legal relations.

REFERENCES

- Kholikov, I. V. The spread of epidemics, pandemics, and mass diseases as a global challenge of our time [*Rasprostraneniye epidemii, pandemii i massovykh zabolovaniy kak globalniy vyzov sovremennosti*]. *Puti k miru i bezopasnosti*, 2020, Iss. 2 (59), p. 33. DOI: 10.20542/2307-1494-2020-2-27-40.
- Zemlin, A. I., Klenov, M. V., Kholikov, I. V. Organisational and legal problems of preventing the importation and spread of mass infectious diseases in transport industry (the example of COVID-19 coronavirus infection pandemic): Monograph [*Organizatsionno-pravovye problemy preduprezhdeniya zavoza i rasprostraneniya massovykh infektsionnykh zabolovaniy na transporte na primere pandemii koronavirusnoi infektsii COVID-19: Monografiya*]. Moscow, Ru-Science publ., 2020, 126 p.
- Zemlin, A. I. Administrative and legal aspects of transport security [*Administrativno-pravovye aspekty obespecheniya transportnoi bezopasnosti. Natsionalnaya bezopasnost i strategicheskoe planirovaniye*, 2019, Iss. 4 (28), pp. 10–14. [Electronic resource]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_42391795_44488503.pdf. Last accessed 24.11.2020.
- Zemlin, A. I., Zemlina, O. M., Kozlov, V. V., Kholikov, I. V. Legal and organisational aspects of countering terrorism in transport sector: Textbook [*Pravovye i organizatsionnye aspekty obespecheniya protivodeistviya terrorizmu na transporte: Uchebnik*]. 2nd ed., rev. and enl. Moscow, Yurayt publ., 2020, 155 p.
- Zemlin, A. I., Kozlov, V. V. Counteraction to terrorism. Organisational and legal support for transport: Study guide [*Protivodeistvie terrorizmu. Organizatsionno-pravovoe obespechenie na transporte: Ucheb. posobie*]. Moscow, Yurayt publ., 2019, 182 p.
- Zemlin, A. I., Petrov, Yu. I., Kharlamova, Yu. A. Actual problems of development of transport legislation and transport law in Russia: Monograph [*Aktualnie problemy razvitiya transportnogo zakonodatelstva i transportnogo prava Rossii: Monografiya*]. 2nd ed., rev. and enl. Moscow, Ru-Science publ., 2019, 191 p.
- Zemlin, A. I., Zemlina, O. M., Shvydchenko, O. N. Topical issues of technical regulation of metro safety [*Aktualnie voprosy tekhnicheskogo regulirovaniya bezopasnosti metropolitenov*]. *Bulletin of MIIT Law Institute*, 2018, Iss. 1 (21), pp. 87–101. [Electronic resource]: https://ui-miit.ru/files/docs/vestnik-vestnik-ui_21.pdf. Last accessed 24.11.2020.
- Bagreeva E. G., Zemlin A. I., Shamsunov S. Kh. Does Environmental Safety Depend Upon the Legal Culture of Transport Specialists? *Ekoloji*, 2019, Iss. 107, pp. 4961–4965.
- Zemlin, A. I., Khimich, T. M., Filippova, M. Yu., Rasulov, A. V., Gots, E. V., Zemlina, O. M., Matveeva, M. A., Pischelko, A. V., Melnikova, Yu. V., Dukhno, N. A., Borisova, S. V., Mamonova, M. V., Melnikov, V. S., Openyshev, O. S., Petrov, Yu. I., Kharlamova, Yu. A. Transport law: Textbook [*Transportnoe pravo: Uchebnik*]. 2nd ed., rev. and enl. Ser. 73 Bachelor and specialist. Moscow, Yurayt publ., 2019, 379 p.
- Zemlin, A. I., Timonina, I. V., Khimich, T. M., Filippova, M. Yu., Koryakin, V. M., Rasulov, A. V., Gots, E. V., Zemlina, O. M., Matveeva, M. A., Pischelko, A. V., Efendiev, T. S., Melnikova, Yu. V. Legal support of professional activity for transport specialties: Textbook [*Pravovoe obespechenie professionalnoi deyatel'nosti dlya transportnykh spetsialnostei: Uchebnik*]. 3rd ed., rev. and enl. Ser. 68. Professional education. Moscow, Yurayt publ., 2019, 478 p.
- Artamonova, S. N., Gots, E. V., Zemlin, A. I., Zemlina, O. M., Kozlov, V. V., Mamonova, M. V., Matveeva, M. A., Melnikova, Yu. V., Pischelko, A. V., Rasulov, A. V., Sokolova, E. V., Filippova, M. Yu. Actual problems of legal support of professional activity: Textbook [*Aktualnie problemy pravovogo obespecheniya professionalnoi deyatel'nosti: Uchebnik*]. Ed. by A. I. Zemlin. Moscow, Yurayt publ., 2020, 459 p.
- Klyonov, M. V., Kholikov, I. V. Legal and Organisational 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: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-3-180-191>.
- Zhdanov, K. V., Kholikov, I. V. Disease caused by the Ebola virus: from theory to practice [*Bolezn', vyzvaemaya virusom Ebola: ot teorii k praktike*]. *Zhurnal infektologii*, 2015, Iss. 1, pp. 5–14. [Electronic resource]: <https://journal.niidi.ru/jofin/article/view/368/365>. Last accessed 24.11.2020.
- Kholikov, I. V. Legal support of international cooperation in the field of medicine and health care in emergency situations: Monograph [*Pravovoe obespechenie mezhdunarodnogo sotrudnichestva v oblasti meditsiny i zdravookhraneniya*]. Moscow, Istoki publ., 2007, 260 p.
- Bukhtiyarov, I. V., Rubtsova, N. B., Kholikov, I. V. Occupational Health in Russia. *Labour medicine and working capacity* [*Trudova meditsina i rabotosposobnost'*]. Sofia, Bulgaria, 2018, Iss. 3, pp. 46–57.
- Sazonova, K. L., Kholikov, I. V. The Ebola Response Team Deployment in the Guinea Republic: Organizational, Ethical, Legal Issues and a Problem of Responsibility. Ethical Challenge for Military Health Care Personnel. Ed. by D. Messelken and D. Winkler. New York, 2018, pp. 38–51. ●

Information about the author:

Damaskin, Oleg V., Honoured Lawyer of the Russian Federation, Doctor of Law, Professor, Chief Researcher at the Institute of State and Law of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, dov39@mail.ru.

Article received 26.03.2021, accepted 25.06.2021.

**ABSTRACTS OF D.SC.
AND PH.D. THESES
SUBMITTED AT RUSSIAN
TRANSPORT UNIVERSITIES**

The texts of the abstracts originally written in Russian are published in the first part of the issue.

Тексты авторефератов на русском языке публикуются в первой части данного выпуска.

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-16>

World of Transport and Transportation,
2021, Vol. 19, Iss. 3 (94), pp. 283–287

Kudryavtsev, A. N. Accounting for structural destruction of unreinforced stone material of foundations in design of road pavements. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [*Uchet strukturnykh razrushenii neukreplennogo kamennogo materiala osnovanii pri proektirovanii dorozhnykh odezhd. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk*]. Moscow, MADI publ., 2021, 22 p.

The objective of the thesis was to develop a computational model for accounting for structural destruction and a methodology for selection of unreinforced stone material for foundations during designing road pavements.

The scientific novelty lies in the fact that the developed methodology, in contrast to the existing methods of designing pavements, allows to directly consider such important characteristics of the stone material of the foundations as: grade for crushing, grade of abrasion, and frost resistance. The development of such a technique became possible since the improved computational model considered the processes of destruction and repackaging of unreinforced stone material in the foundations of pavements during their service life.

Based on the results of the analysis, the causes and factors of destruction of unreinforced stone material in the foundations of road pavements were identified. It was determined that the majority of models for predicting residual sagging in base layers, as a rule, were not intended for problems of design and calculation of road pavements.

The influence of the grade of stone material in terms of crushability, grade of abrasion, grade of frost resistance, average particle diameter of stone material and technology of arrangement of the base layer out of unreinforced stone material on the amount of residual settlement has been theoretically proved.

The performed studies allowed developing a computational model considering structural destruction of stone materials, which makes it possible to determine the required characteristics of unreinforced stone material when designing road pavements. The boundary conditions for application of this computational model are determined.

The relationship between grades of stone material in terms of crushing and abrasion has been established, which made it possible, while designing road pavements, to integrate these indicators within an integral characteristic of quality of stone material. A method has been developed for determining the calculated modulus of elasticity of the base layer, depending on its residual porosity and the grade of crushing of stone material. The values of the elastic moduli have been determined for the base layers, arranged according to the wedge method, considering the inhomogeneous and non-uniform structure over the layer thickness. The values of the moduli of elasticity of layers made of rationally selected mixtures for various grades of stone material in terms of crushing have been clarified. It has been established that rationally selected mixtures have a uniform density in thickness and greater stability over a long period of time in comparison with foundations arranged according to the wedge method. It is proposed to assign the physical and mechanical characteristics of the unreinforced stone material of foundations while designing road pavements, depending on the total number of applications of the design load.

The process of loading a stone material during operation of highways was modelled using a designed and patented installation for dynamic testing of pavement bases. Experimental studies made it possible to evaluate the mechanisms of changing the granulometric



composition of stone material in foundations of road pavements with formation of fine fractions and accumulation of irreversible sagging due to cyclic loading.

Practical recommendations have been developed for the choice of unreinforced stone material and the optimal area of its application in foundations for design of road pavements. When comparing various designs of road pavements and considering discounted costs, it was found that the options designed in accordance with the methodology for selection of unreinforced stone material proposed in this work are more efficient, while savings by the end of the service life of road pavements are up to 18 %, depending on the type and composition of the repair measures being performed.

05.23.11 – Design and construction of roads, metro, airfields, bridges, and transport tunnels.

The work was performed and defended at the Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI).

Makovetsky, O. A. Calculation and design of an artificial foundation: «structural geotechnical massif». Abstract of D.Sc. (Eng) thesis [Raschet i konstruirovaniye iskusstvennogo osnovaniya «strukturniy geotekhnicheskiiy massiv». Avtoref. dis... doc. tekhn. nauk]. Moscow, RUT publ., 2021, 38 p.

The objective of the work is to create a theory of calculation and design of an artificially improved foundation with given physical and mechanical characteristics, that is of «structural geotechnical massif», optimally considering the geotechnical and urban planning conditions of the construction site.

The scientific novelty of the work consists in development of the theory of calculating the stress-strain state of a soil mass vertically reinforced with rigid elements made using the technology of jet cementation of the soil.

Based on the performed complex of experimental and theoretical studies, the use of the technology of jet cementation of soil in weak water-saturated soils for construction of structural geotechnical arrays with formation of rigid reinforcing elements with specified

geometric dimensions and physical and mechanical characteristics of a soil-cement composite («soil concrete») is substantiated:

- The dependence of the radius of the reinforcing element and the physical and mechanical features of soil concrete on the assigned technological parameters of jet grouting of the soil was experimentally and theoretically, determined.

- Statistical processing of data of more than 800 tests of soil concrete samples drilled from experimental reinforcing elements allowed to obtain the main physical and mechanical characteristics of the material: compressive strength, deformation modulus and correlation dependences between them.

- Based on the experimental data obtained for the first time ever, a rheological model of soil concrete is proposed, which, using the theory of hereditary aging, describes development of creep processes at different «ages» of loading.

The theoretical foundations of transformation of mechanical properties of weak water-saturated soils when performing vertical reinforcement with rigid soil-concrete elements and with an intermediate flexible grillage have been developed:

- The construction of the foundation that is «structural geotechnical massif» was proposed, physical and calculation models of force resistance were built for the design of its optimal structure.

- Based on representation of the geotechnical massif as of a solid body with a structure, the dependences of the influence of thickness and mechanical characteristics of a flexible grillage on distribution of pressures between reinforcing elements and the surrounding soil were obtained.

- The problem of determining effective deformation characteristics of the geotechnical massif as of a composite transverse isotropic medium has been solved, the dependence of the integral modulus of deformation on the percentage of reinforcement has been experimentally confirmed.

- The problem of determining the rate of development and relative deformation of the creep of the geotechnical massif depending on the change in viscosity of the soil concrete in

the process of gaining strength was posed and solved.

- Based on numerical modelling, the dependences are obtained that determine the effective speed of propagation of the transverse seismic wave and the decrease in acceleration of seismic vibrations in the centre of the site in relation to the initial state, depending on the design characteristics of the geotechnical massif.

The obtained theoretical solutions were calibrated according to the data of stamp tests of the geotechnical massif with static loads and the conditions for using the model (Hardening-Soil) for predicting the integral mechanical characteristics of the «structural geotechnical massif» were substantiated. Comparison of the stress-strain state of the structural geotechnical massif obtained in the course of computer modelling according to the proposed theoretical relationships and experimental data of geodetic observations of development of the sagging of buildings under construction showed their good qualitative and quantitative agreement (the excess of the calculated settlement over the experimental is 15...25 %).

In general, the results of experimental and theoretical studies allow obtaining a solution to a scientific problem of great economic importance of creation of a theory of calculation and construction of an artificial foundation with given physical and mechanical characteristics which is «structural geotechnical massif».

05.23.02 – Bases and foundations, underground structures.

The work was performed and defended at Russian University of Transport.

Prisukhina, I. V. Machine identification of operating modes of rail circuits and ALSC code signals. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Mashinnaya identifikatsiya rezhimov raboty relsovykh tsepei i kodovykh signalov ALSN. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk]. St. Petersburg, PSTU publ., 2021, 18 p.

The objective of the study is to improve the methods for determining the operating modes of the rail circuit and decoding code signals of the automatic locomotive signalling of continuous operation (ALSC).

As a result of the research carried out within the framework of the thesis, a method for synthesis of the training sample required for machine identification of operating modes of the rail circuit has been developed. The technique allows calculating the complex values of voltages and currents at the input and output of the rail circuit under various combinations of external influences (changing insulation resistance of the rail line, the coordinate of the train shunt, the coordinate of the break of the rail line) in normal, shunt and control modes of operation.

Algorithms for machine identification of operating modes of a rail circuit using logistic regression, Hermite polynomial transform and support vector method have been developed. Algorithms make it possible to identify each of the operating modes of the track circuit (including the control sample one).

A method for synthesis of a training sample required for machine identification of ALSC code signals has been developed. The technique allows synthesising oscillograms of code signals («Z» [green], «Zh» [yellow], «KZh» [red/yellow]) with various types of distortions typical for real operating conditions of rail circuits (impulse noise, shape distortions, the influence of the locomotive receiving equipment and unstable properties of the rail line).

Systems for machine identification of ALSC code signals with synchronisation of oscillograms, with Fourier transform and asynchronous processing of oscillograms have been developed. The developed systems allow correct identification of code signals under the influence of destabilising impacts.

05.22.08 – Management of transportation processes.

The work was performed and defended at Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University.

Pronevich, O. B. Automated fire risk management system for ensuring traffic safety on railways. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Avtomatizirovannaya sistema upravleniya pozharnymi riskami pri obespechenii bezopasnosti dvizheniya na



zheleznodorozhnom transporte. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk]. Moscow, RUT publ., 2021, 23 p.

The objective of the thesis is to reduce the number of dangerous states leading to fires and to increase traffic safety by automating the processes of fire risk management for infrastructure facilities and railway rolling stock.

The expediency of development and use of algorithms for intellectualisation of diagnostics of malfunctions of railway facilities, leading to an increase in fire risk, has been substantiated. Analysis of the state of the problem of assessing and managing fire risks at railway facilities, types of automated fire risk management systems in Russia and European countries revealed the need to develop methods and algorithms that provide the ability to predict the probability of fire based on the technical characteristics of railway infrastructure facilities and rolling stock.

Classifiers of railway facilities malfunctions destabilising fire safety, as well as control and evaluation cards have been developed for intellectualisation of their diagnostics within the framework of an automated audit of fire risks at electrical interlocking posts, traction rolling stock, information and computing centres of JSC Russian Railways, traction substations of JSC Russian Railways, railway stations.

A method for mathematical modelling of the fire risk at a railway facility at the operation stage has been developed. The method is based on the results of statistical analysis of fires and failures at railway facilities. It consists in formalisation of the description of the process of changes in the states of the railway object using an oriented graph of states, modelling of development of events leading to a fire.

A method for determining the probability of an object's transition to dangerous states from an identified non-hazardous state is proposed, which makes it possible to determine the a priori probability of a fire based on information about initial and subsequent possible states of the railway object, identified by the results of the audit.

A method and algorithms have been developed for automated diagnostics of fire risks for potential ignition source at infrastructure facilities and on rolling stock, which for the first time allow collecting initial data for assessing fire risks without involving supervisory officials.

Methods for assessing fire risks at infrastructure facilities and on railway rolling stock have been developed. These techniques are implemented at JSC Russian Railways in the fire risk management system.

A mobile hardware and software complex has been created that allows for an audit of fire safety and an assessment of fire risk at the stage of operation of infrastructure facilities and railway rolling stock, providing the possibility of simultaneous mass calculations of fire risks.

Calculations of the fire risk were carried out for 407 stationary facilities of JSC Russian Railways. Based on the results of diagnosing fire hazardous conditions, an undesirable level of fire risk was revealed for 25 (out of 365) railway stations, 19 (out of 32) electric centralisation posts, 4 (out of 10) traction substations.

The audit and assessment of fire risk was carried out on 806 locomotives, according to the results of which 23 051 fire hazardous conditions were eliminated. In the Far Eastern Traction Directorate, an unacceptable level of fire risk was identified for 207 TE10 diesel locomotives, and an undesirable level of fire risk was established for 14 diesel locomotives. An unacceptable level of fire risk was set for 585 electric locomotives of Krasnoyarsk Traction Directorate.

As recommendations and prospects for further development of the topic of the thesis, it is proposed to increase accuracy and reliability of predicting fire risks of railway facilities by processing big data on fire hazardous states of transport facilities using methods and algorithms of artificial intelligence (Data Mining and Data Science).

05.13.06 – Automation and control of technological processes and production (transport).

The work was performed and defended at Russian University of Transport.

Skorobogatov, M. E. Means of increasing the efficiency of automated control of train traffic on sections electrified with alternating current. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Sredstva povysheniya effektivnosti avtomatizirovannogo upravleniya dvizheniem poezdov na uchastkakh, elektrifitsirovanykh peremennym tokom. Avtoref. dis... kand. tekh. nauk]. Irkutsk, ISTU publ., 2021, 18 p.

The aim of the thesis is to increase the efficiency of automated control of train traffic by modernising continuous automatic locomotive signalling devices (ALSC) at sections electrified with alternating current.

The operational consequences of malfunctions of ALSC locomotive devices have been analysed and it has been established that, within the framework of the technological process of controlling movement of trains on sections electrified with alternating current, the main negative consequence is a decrease in the section speed by 3,6 km/h.

Based on the results of processing the above set of experimental data, the mechanism of the effect of stationary and random interference was refined and the characteristics of the interference acting on the mountain section electrified with alternating current were estimated. Thus, the threshold signal-to-noise ratio under the action of stationary harmonic interference on the useful signal of a numerical code with a frequency of 25 Hz is 0,681, for a useful signal frequency of 75 Hz this value is 0,592. The threshold signal-to-noise ratio under the action of a random impulse noise on a useful numerical code signal with a frequency of 25 Hz is 0,805; for a useful signal frequency of 75 Hz, this value is 0,478.

A method has been developed for determining the operability of ALSC locomotive devices under the conditions of stationary harmonic and random impulse noise, which is based on the criterion for evaluating the duration of the first interval between pulses of a numerical code signal.

A method of single-band digital filtering for digital code signals of automatic locomotive signalling is proposed and requirements for a narrow-band locomotive

digital filter are formulated. It is shown that for implementation of narrow-band digital filtering of a numerical code signal with permissible distortions of the shape-temporal parameters of the signal, it is necessary to provide: a sampling frequency of at least 500 Hz, a suppression level in the stopband of at least 30 dB, an elliptical approximating function, and an infinite impulse response.

Scientific and technical recommendations are proposed to reduce the degree of negative influence of the main causes of failures on ALS devices. To reduce the influence of asymmetry of reverse traction current on operation of ALS locomotive devices, it is necessary to prevent the train from entering the section of unconditional failure in the case when a heavy train is located on the corresponding mountain-pass section of the probable failure. Moreover, this recommendation applies both to trains moving along one track, and on neighbouring ones. It is necessary to revise the algorithms for checking the ALS equipment in the conditions of locomotive depots and create fundamentally new technical means on a modern element base that allow controlling the parameters of the ALS equipment when exposed to artificial interference. They should provide an opportunity to assess the individual noise immunity of the ALS equipment of a particular locomotive in accordance with the selected criteria. A digital narrow-band filter is proposed for extracting ALSC signals, which should be installed between the ALSC receiving locomotive coils and the locomotive amplifier. The use of this filter will allow upgrading the existing ALSC relay system to the required level of noise immunity, which will give a greater economic effect compared to the full-scale implementation of CLUB or BLOCK microprocessor devices.

05.13.06 – Automation and control of technological processes and production (transport).

The work was performed and defended at Irkutsk State Transport University. ●





NEW BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION

The list of titles originally edited in Russian is published in the first part of the issue.

Список изданий на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-17>

World of Transport and Transportation,
2021, Vol. 19, Iss. 3 (94), P. 288

Ageshkina, N. A. Organisation of passenger transportation and passenger service (railway transport): Textbook [*Organizatsiya passazhirskikh perevozok i obsluzhivanie passazhirov (zheleznodorozhnyi transport): Uchebnik*]. Moscow, IPR Media publ.; Saratov, Profobrazovanie publ., 2021, 432 p. ISBN 978-5-4497-0610-2.

Brodetsky, G. L., Gerami, V. D., Shidlovsky, I. G. Optimisation of cargo transportation considering payment delays. Effective solutions for inventory management: Monograph [*Optimizatsiya gruzoperevozok s uchetom otsrochek platezhei. Effektivnie resheniya pri upravlenii zapasami: Monografiya*]. Moscow, Infra-M publ., 2021, 288 p. ISBN 978-5-16-016809-8.

Buyanova, L. N., Grigoryan, M. G. Problems of labour productivity management on water transport: Monograph [*Problemy upravleniya proizvoditel'nostiyu truda na vodnom transporte: Monografiya*]. St. Petersburg, Publishing house of GUMRF n.a. adm. S. O. Makarov, 2021, 186 p. ISBN 978-5-9509-0437-0.

Chizhkov, Yu. V. Arctic sea transport system [*Arkticheskaya morskaya transportnaya sistema*]. St. Petersburg, Mediaapir publ., 2021, 95 p. ISBN 978-5-00110-199-4.

Dmitriev, A. V. Digital information technologies in ecosystems of transport and logistics services: Monograph [*Tsifrovie informatsionnie tekhnologii v ekosistemakh transportno-logisticheskogo obsluzhivaniya: Monografiya*]. St. Petersburg, Publishing house of SPbSEU, 2021, 159 p. ISBN 978-5-7310-5328-0.

Gorina, A. P., Makarkin, N. P., Korneeva, N. V. [et al]. Economics of clusters: Study guide [*Ekonomika klasterov: Ucheb. posobie*]. Ed. by prof. N. P. Makarkin. Saransk, Publishing house of Mordovian University, 2021, 86 p. ISBN 978-5-7103-4140-7.

Ivanov, I. A., Urushev, S. V., Vorobiev, A. A., Kononov, D. P. Metrology, standardization, and certification in transport sector: Textbook [*Metrologiya, standartizatsiya i sertifikatsiya na transporte: Uchebnik*]. 4th ed., revised. Moscow, Academia publ., 2021, 330 p. ISBN 978-5-4468-9949-4.

Kharlamova, Yu. A. Struggle for Eurasia in the focus of transport geostrategy: Monograph [*Borba za Evraziyu v fokuse transportnykh geostrategii: Monografiya*]. 2nd ed., rev. and enl. Moscow, Infra-M publ., 2021, 218 p. ISBN 978-5-16-016842-5.

Khodosh, M. S., Bachurin, A. A., Spirin, I. V., Savosina, M. I. Organisation of service in road transport sector: Textbook [*Organizatsiya servisnogo obsluzhivaniya na avtomobilnom transporte: Uchebnik*]. Ed. by M. S. Khodosh. 4th ed., rev. Moscow, Academia publ., 2021, 286 p. ISBN 978-5-4468-9715-5.

Komov, M. S. Formation of a single transport space in the Eurasian Economic Union: problems and prospects: Monograph [*Formirovanie edinogo transportnogo prostranstva v Evrazijskom ekonomicheskom soyuze: problemy i perspektivy: Monografiya*]. Moscow, MAKS Press, 2021, 127 p. ISBN 978-5-317-06554-6.

Kovregin, V. N., Kovregina, G. M. Technology of computer simulation of strapdown inertial systems of aircraft [*Tekhnologiya imitatsionnogo kompyuternogo modelirovaniya besplatformennykh inertsiyalnykh sistem letatelnykh apparatov*]. St. Petersburg, GUAP publ., 2021, 55 p.

Lebedev, E. A., Mirotin, L. B. Feeder transportation of goods and their multiplier effect: Monograph [*Fidernie perevozki gruzov i ikh multiplikativnyy effect: Monografiya*]. Moscow, Vologda, Infra-Engineering publ., 2021, 190 p. ISBN 978-5-9729-0606-2.

Nekrasov, A. G., Sinityna, A. S. Digitalisation of integrated transport and logistics systems: Monograph [*Tsifrovizatsiya integrirovannykh transportno-logisticheskikh sistem: Monografiya*]. Moscow, VINITI RAS publ., 2021, 275 p. ISBN 978-5-902928-90-4.

Ognev, A. S., Nikolaeva, L. P., Likhacheva, E. V. The human factor in ensuring safety of aviation activities. Crew Resource Management (CRM): Test Simulator Workshop [*Chelovecheskiy faktor v obespechenii bezopasnosti aviatsionnoi deyatelnosti. Upravlenie resursami ekipazha (CRM): Test-trenazherniy praktikum*]. Moscow, Sputnik + publ., 2021, 57 p. ISBN 978-5-9973-5969-0.

Pavlishcheva, N. A. Forwarding activities (railway transport): Textbook [*Transportno-ekspedititsionnaya deyatelnost (zheleznodorozhnyi transport): Uchebnik*]. Moscow, Ai Pi Ar Media publ.; Saratov, Profobrazovanie publ., 2021, 488 p. ISBN 978-5-4497-0603-4.

Podsorin, V. A., Ivanova, E. A., Flyagina, T. A. Economic aspects of development of long-distance passenger transportation: Monograph [*Ekonomicheskie aspekty razvitiya passazhirskikh perevozok v dalnem sledovanii: Monografiya*]. Moscow, Infra-M publ., 2021, 201 p. ISBN 978-5-16-016851-7 (print).

Sanatov, D. V., Abakumov, A. M., Aidemirov, A. Yu. [et al]. Prospects for development of the market for electric transport and charging infrastructure in Russia: Expert and analytical report [*Perspektivy razvitiya rynka elektrotransporta i zaryadnoi infrastruktury v Rossii: Ekspertno-analiticheskii doklad*]. Ed. by A. I. Borovkov, V. N. Knyaginina. St. Petersburg, Polytech-Press publ., 2021, 44 p. ISBN 978-5-7422-7238-0.

Shishkarev, S. N., Torkunov, A. V., Sushentsov, A. A. [et al]. Global challenges for international transport: threats and opportunities [*Globalnie vyzovy dlya mezhdunarodnogo transporta: ugrozy i vozmozhnosti*]. Ed. by A. A. Sushentsov. Moscow, Delo publ., 2021, 312 p. ISBN 978-5-6045392-0-0.

Shubinsky, I. B., Zamyshlyaev, A. M. Management of technical assets of railway transport: Monograph [*Upravlenie tekhnicheskimi aktivami zheleznodorozhnogo transporta: Monografiya*]. Moscow, VINITI publ., 2021, 247 p. ISBN 978-5-902928-89-8.

Small, K. A., Verhoef, E. T. The Economics of Urban Transportation: Textbook. Transl. from English under scientific ed. of K. Sosunov. Moscow, Delo publ., 2021, 398 p. ISBN 978-5-85006-326-9.

Tarkhov, S. A., Merzlov, D. S. Passenger transport of Tajikistan [*Passazhirskiy transport Tadjikistana*]: [with English summary]. Krasnodar, Traditsiya publ., 231 p. ISBN 978-5-91883-387-2.

Teryoshina, N. P., Podsorin, V. A., Kozhevnikov, Yu. N., Danilina, M. G. Economy of railway transport: Textbook [*Ekonomika zheleznodorozhnogo transporta: Uchebnik*]. Ed. by N. P. Tereshina, V. A. Podsorin, 2nd ed. Saratov, Profobrazovanie publ., 2021, 365 p. ISBN 978-5-4488-1298-9.

Tsevelev, A. V. Strategic development of material and technical support of railway transport: Monograph [*Strategicheskoe razvitie materialno-tekhnicheskogo obespecheniya zheleznodorozhnogo transporta: Monografiya*]. Moscow, Infra-M publ., 2021, 227 p. ISBN 978-5-16-016594-3.

Varfolomeev, M. S. Special technology of casting in the aviation industry: Study guide [*Spetsialnaya tekhnologiya litiya v aviatsionnoi promyshlennosti: Ucheb. posobie*]. Moscow, Publishing house of MAI, 2021, 86 p. ISBN 978-5-4316-0782-0.

Veremeenko, E. G. Transport logistics of cargo systems: Study guide [*Transportnaya logistika gruzovykh sistem: Ucheb. posobie*]. Rostov-on-Don, DSTU publ., 2021, 75 p. ISBN 978-5-7890-1919-1.

Zakharova, N. A. Forwarding activities: Textbook [*Transportno-ekspedititsionnaya deyatelnost: Uchebnik*]. Moscow, Ai Pi Ar Media publ.; Saratov, Profobrazovanie publ., 2021, 400 p. ISBN 978-5-4497-0796-3.

Compiled by N. OLEYNIK ●



Рис. Максим Смагин / Pic. Maxim Smagin

АНЕКДОТ

НА ОБОЧИНЕ

● Тот, кто жалуется, что автобус медленно едет, никогда не пробовал бежать за ним вдогонку...

● – Кручусь как белка в колесе. – Крутится там колесо, белка как раз не крутится.

● Открытые, честные, прямолинейные люди, которым абсолютно нечего скрывать, хороши до тех пор, пока они так же открыто не начинают громко разговаривать по телефону на весь автобус.

Афоризмы Quotes

Я путешествую не для того, чтобы приехать куда-то, но чтобы ехать. Главное – это движение.

Р. Л. Стивенсон

(«Путешествие с ослом по Севеннам»)

I travel not to go anywhere, but to go. I travel for travel's sake. The great affair is to move.

Robert Louis Stevenson

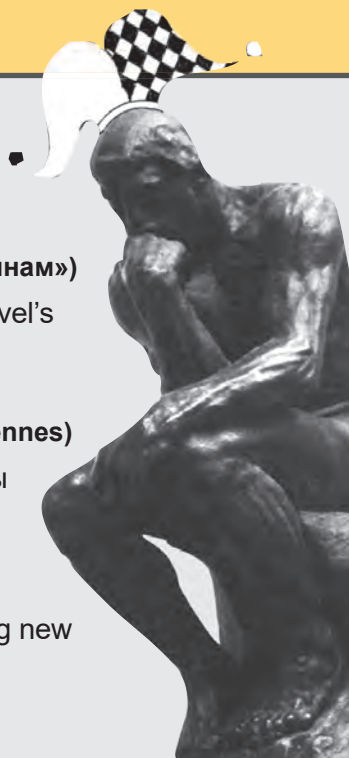
(Travels with a Donkey in the Cévennes)

Настоящее путешествие состоит не в том, чтобы увидеть новые пейзажи, а в том, чтобы обрести новый взгляд на жизнь.

Марсель Пруст

The real voyage of discovery consists not in seeking new landscapes, but in having new eyes.

Marcel Proust





**World of Transport
and Transportation**

Vol.19, Issue 3, 2021

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/fax +7(495)684 2877
e-mail: mirtr@mail.ru
wtjournal@gmail.com

Почтовый адрес редакции:
127994, Москва,
ул. Образцова, д.9, стр. 9.
Российский университет
транспорта,
Издательство «Транспорт РУТ»
Тел/факс (495)6842877
e-mail: mirtr@mail.ru
wtjournal@gmail.com



ISSN 1992-3252



9 771992 325778 >