

Т

ISSN 1992-3252

ТРАНСПОРТА

**WORLD OF TRANSPORT
AND TRANSPORTATION**

5 2020
Том / Vol. 18



Стр./р. 62



БЕСПИЛОТНЫЕ СУДА

Испытания беспилотных судов будут проведены в 11 субъектах Российской Федерации.

Как сообщила пресс-служба Минпромторга, предусмотрено утверждение положения о проведении эксперимента по опытной эксплуатации автономных судов под государственным флагом Российской Федерации, в котором обозначены Астраханская область, Калининградская область, Краснодарский край, Ленинградская область, Магаданская область, Мурманская область, Приморский край, Ростовская область, Санкт-Петербург, Сахалинская область, Хабаровский край, в морских портах которых зарегистрированы автономные суда.

Ранее проект постановления правительства о проведении эксперимента по эксплуа-

тации беспилотных судов под российским флагом поддержали Министерство транспорта России и другие ведомства

Эксперимент начнётся 1 октября 2020 года и продлится до 31 декабря 2025 года. В октябре 2020 года в нём примут участие танкер «Михаил Ульянов» («Совкомфлот»), который совершает регулярные рейсы между Мурманском и МЛСП «Приразломная», и сухогруз «Пола Анфиса» (ООО «Пола Райз»), который будет выполнять регулярные рейсы в акватории Чёрного и Каспийского морей, а также связка из грунтоотвозной баржи «Рабочая» и земснаряда «Редут» («Росморпорт») в акватории порта «Кавказ».

По материалам ИТАР-ТАСС:
<https://tass.ru/ekonomika/9524169>●

UNMANNED SHIPS

Tests of unmanned ships will be carried out in 11 entities of the Russian Federation.

According to the press service of the Ministry of Industry and Trade, it is planned to approve regulations on the pilot project of experimental operation of unmanned ships flying the flag of the Russian Federation providing involvement of the seaports of Astrakhan region, Kaliningrad region, Krasnodar region, Leningrad region, Magadan region, Murmansk region, Primorsky region, Rostov region, St. Petersburg, Sakhalin region, Khabarovsk region, where ships are registered.

Earlier, the draft government decree on the experiment on the operation of unmanned ships

has been supported by the Russian Ministry of Transport and other ministries and agencies.

The experiment will begin on October 1, 2020 and will last until December 31, 2025. In October 2020, it will involve the tanker Mikhail Ulyanov (Sovcomflot), operating regular voyages between Murmansk and Pirazlomnaya offshore ice-resistant oil producing stationary platform, the general cargo ship Pola Anfisa (Pola Rise LLC), which will provide regular service in the Black and Caspian Seas, as well as an interconnected group of hopper barge Rabochaya and drag Redoubt (Rosmorport) in the Kavkaz port area.

Compiled based on ITAR-TASS news:
<https://tass.ru/ekonomika/9524169>●

Фото на первой обложке: сайт «Инновационный дайджест» http://www.rzd-expo.ru/innovation/stock/locomotives_of_freight_traffic/; сайт НЭВЗ АО «Трансмашхолдинг» <https://www.nevz.com/2es5.php>.

Front cover photos: Innovative Digest website http://www.rzd-expo.ru/innovation/stock/locomotives_of_freight_traffic/; website of Novocherkassk Electric Locomotives Plant (NEVZ) of JSC Transmashholding <https://www.nevz.com/2es5.php>.

ТРАНСПОРТ МИР

• ТЕОРИЯ • ИСТОРИЯ
• КОНСТРУИРОВАНИЕ БУДУЩЕГО

5²⁰²⁰
(90)

Издаётся
Российским университетом
транспорта.
Учреждён МИИТ
в 2003 году

Редакционный совет:

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

В. В. Виноградов – доктор технических наук, профессор РУТ

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

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

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

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

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

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

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

Б. М. Куанышев – доктор технических наук, профессор Казахской академии транспорта и коммуникаций

Б. М. Лапидус – доктор экономических наук, профессор

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

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

Александр ГОЛОВНИЧ

Верифицируемая структура технологических процессов в трёхмерных динамических моделях железнодорожных станций 6

Наталья КУФТИНОВА

Проблемы интеллектуального анализа данных при моделировании транспортных потоков мегаполиса 24

НАУКА И ТЕХНИКА

Румен ДИМИТРОВ

Оценка электромагнитного воздействия тягового подвижного состава на рельсовые цепи 42

Александр СЕМЕНОВ, Виктор СЕМЧЕНКО, Игорь ХРОМОВ

Мониторинг технического состояния электровозов переменного тока по расходу электроэнергии на тягу поездов 62

Дмитрий ЕФАНОВ, Валерий МЯЧИН, Герман ОСАДЧИЙ

Автодорожные путепроводы лифтового типа для пересечения железнодорожных путей в условиях плотной застройки современных городов 90

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Анатолий КОРОТКИЙ, Александр ДЕМЬЯНОВ, Алексей ДЕМЬЯНОВ

Система дистанционного мониторинга технических объектов. . . 110

Галина ЧЕРНОВА, Марина ВЕЛИКАНОВА, Владислав КОКШИЛОВ

Оценка качества перевозок пассажиров в городе Волжском по требованиям социального стандарта 122

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», 2020

Ольга ЮСУПОВА

Анализ качества сайта грузоперевозчика с целью повышения лояльности клиентов-частных лиц. 140

Максим КУДРЯШОВ, Александр ПРОКОПЕНКОВ, Радион АЙРИЕВ

Методический подход к организации перевозок на электробусных маршрутах. 152

ОБРАЗОВАНИЕ И КАДРЫ

Ольга ПЛАТОНОВА

Об истории математических олимпиад 172

Николай КОВАЛЕНКО, Нина КОВАЛЕНКО

Техническое обслуживание малоинтенсивных железных дорог в современных условиях 190

КОЛЕСО ИСТОРИИ

Алла ШЕЛИХОВА

По воде аки посуху 202

Пресс-архив. Передвижение пассажиров и грузов по безрельсовому пути 212

КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

Игорь ШАПКИН

Реформатор железных дорог и страны... 234

Авторефераты диссертаций 242

Новые книги о транспорте 255

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 500 экз. Цена свободная.

Подписной индекс в каталоге Агентства «Роспечать»
«Газеты. Журналы» – 80812.

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. 18²⁰²⁰
 Iss. 5

The journal is published
 by Russian University
 of Transport.

Founded in 2003 by MIIT.

Editorial council:

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

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

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

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

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

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

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

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

Bakytzhan M. Kuanyshev,
 D.Sc. (Eng), professor of Kazakh
 Academy of Transport and
 Communications

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)

Valentin V. Vinogradov, D.Sc.
 (Eng), professor of Russian
 University of Transport

CONTENTS

Page numbering below refers to the texts in English

THEORY

Alexander K. GOLOVNICH

Verifiable Structure of Technological Processes in Dynamic
 3D Models of Railway Stations 15

Natalia G. KUFTINOVA

The Problem of Data Mining in Modelling Traffic Flows
 in a Megapolis 33

SCIENCE AND ENGINEERING

Rumen DIMITROV

Evaluation of the Electromagnetic Effect of Traction Rolling
 Stock on Track Circuits 52

*Alexander P. SEMENOV, Victor V. SEMCHENKO,
 Igor Yu. KHROMOV*

Monitoring the Technical Condition of AC Electric Locomotives
 using Traction Energy Consumption Rates. 76

*Dmitry V. EFANOV, Valery N. MYACHIN,
 German V. OSADCHY*

Road Overbridges of Car Lift Type for Crossing Railway Tracks
 in Densely Built-Up Areas of Modern Cities 100

ADMINISTRATION, MANAGEMENT AND CONTROL

*Anatoly A. KOROTKY, Alexander A. DEMYANOV,
 Alexey A. DEMYANOV*

System of Remote Monitoring of Technical Objects 116

*Galina A. CHERNOVA, Marina V. VELIKANOVA,
 Vladislav A. KOKSHILOV*

Assessment of Quality of Passenger Transportation
 in the City of Volzhsky in Conformity with the Requirements
 of the Social Standard 131

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. PUDOVIKOV,
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
© 2020. All rights reserved.

Olga A. YUSUPOVA

Analysis of Quality of a Carrier's Website to Increase
Loyalty of Individual Customers 146

*Maxim A. KUDRYSHOV, Alexander V. PROKOPENKOV,
Radion S. AYRIEV*

Methodical Approach to Organisation of Transportation
on Electric Bus Routes. 162

HRM, EDUCATION & TRAINING

Olga A. PLATONOVA

History of Mathematical Olympiads 181

Nikolay I. KOVALENKO, Nina A. KOVALENKO

Maintenance of Low-Intensity Railways in Modern Conditions 196

HISTORY WHEEL

Alla K. SHELIKHOVA

On the Water like on the Dry Land 207

News from the Archives.

The Movement of Passengers and Goods Along a Railless Track 223

BIBLIO-DIRECTIONS

Igor N. SHAPKIN

Reformer of the Railways and of the Country... 238

Abstracts of D.Sc. and Ph.D. theses 248

New Books on Transport and Transportation 256

Published quarterly since 2003. Bimonthly since 2013.
90 issues have been published since 2003.

Current issues are circulated in 300 hard copies; the journal is distributed
by subscription and delivered by the editor to Russian and foreign
technical and transport universities, national and regional technical
libraries, government and public bodies, transport companies.

Each article in the journal consists of a Russian text and of an English text,
fully identical in contents, both accompanied by abstracts, keywords,
references and information about the authors.

Information for the authors and editorial politics are available at the Web
site <https://mirtr.elpub.ru/jour>.

The open accessed full texts of the articles as well as the abstracts and
key information in English are available at the Web site of the Russian
scientific electronic library at <http://elibrary.ru> (upon free registration) and
the Web site <https://mirtr.elpub.ru/jour>.

The journal is indexed in Russian scientific citation index system, Russian
state library, Socionet, Ulrichsweb, Library of Congress, WorldCat.org.

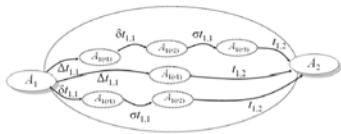
Any reproduction in whole or in part on any medium or use of English
translation of the articles contained herein is prohibited for commercial
use without the prior written consent of World of Transport and
Transportation.



МОДЕЛИРОВАНИЕ 6

Динамические трёхмерные модели железнодорожных станций.

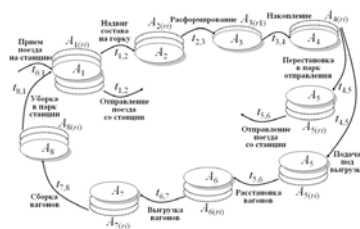
Как избежать искажения реальных процессов при моделировании работы сортировочной станции?



АНАЛИЗ ДАННЫХ 24

Применение методов интеллектуального анализа данных при транспортном моделировании.

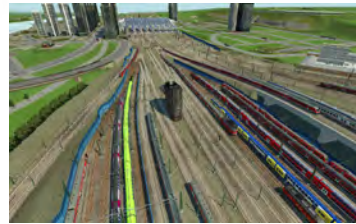
Теория, алгоритмы и практическая значимость.



SIMULATION 15

Dynamic 3D models of railway stations.

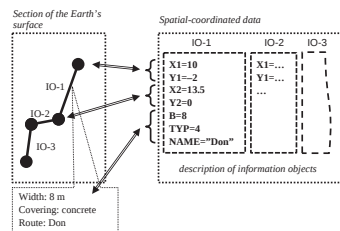
How to avoid distortion of real-life processes while simulating operations at a marshalling yard?



DATA MINING 33

Application of the methods of data mining for building transport models.

Theory, algorithms, and feasibility.





Верифицируемая структура технологических процессов в трёхмерных динамических моделях железнодорожных станций



Головнич Александр Константинович — Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь.*

Александр ГОЛОВНИЧ

Исследуются станционные технологические процессы, воспроизводимые на трёхмерной модели с позиции оценки достоверности их развития. Отождествляемые моделируемые и смоделированные процессы сопоставляются по конкретным сравнительным позициям. Эталонном служит фиксированный набор технологического ряда операций по обслуживанию вагонопотоков всех категорий на конкретной железнодорожной станции.

Для адекватности модельной реконструкции прототипу учитываются возникающие ожидания и простои подвижного состава, которые вводятся в модель как особые расщеплённые состояния основных пространственных локаций подвижного состава. В разрабатываемой модели станции вводится понятие «парафизические конструкции», которое включает любые невозможные по физическим канонам и нерациональные по технологическим требованиям состояния объектов путевого развития и подвижного состава. Логика программного контроля над подобными состояниями модельных структур основывается на анализе разрешённых позиций станционных объектов при выполнении эталонных технологи-

ческих операций. Замедление станционных операций может служить предвестником ожиданий или простоев.

Важным методологическим посылом для способа разработки динамической модели станции является формирование системы внутреннего программного анализа текущей ситуации, распознавания момента наступления парафизической ситуации и упреждения её с введением в нормальное русло штатного развития ситуации. Адаптирующий модуль информационной прототипирующей среды должен быть интеллектуальным агентом, обладающим развитыми свойствами генерации исключительных ситуаций на основе проведённых им сравнительных тестов, способностью формирования соответствующей базы знаний и её использования в процессе дальнейшей работы без какого-либо внешнего участия пользователей.

Цель исследования, изложенного в статье, связана с разработкой общих требований к динамической модели железнодорожной станции, функционирующей адекватно реальной технической системе, благодаря оценке достоверности репродуцированных станционных технологических процессов.

Ключевые слова: железная дорога, трёхмерное моделирование, железнодорожная станция, критерии достоверности модели.

*Информация об авторе:

Головнич Александр Константинович – доктор технических наук, профессор кафедры проектирования, строительства и эксплуатации транспортных объектов Белорусского государственного университета транспорта, Гомель, Беларусь, golovnich_alex@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 09.04.2020, принята к публикации 25.09.2020.

For the English text of the article please see p. 15.

ВВЕДЕНИЕ

Моделирование процессов обслуживания вагонопотоков на железнодорожной станции с трёхмерной визуализацией выполняемых технологических операций является эффективным направлением цифровизации управления транспортными потоками. Реализация алгоритмов функционирования модельных объектов, адекватных физике процессов взаимодействия пути и подвижного состава, а также требованиям технологии не только по внешней форме, но и по внутренним свойствам, позволит создать информационно-физическую модель станции [1; 2]. Так как в основе реконструктивных процессов изменения состояний модельных объектов лежит корректная интерпретация физических взаимодействий тел, то результатом всего процесса моделирования являются непротиворечивые следствия, адекватные реальным станционным событиям. Однако степень достоверности моделируемых состояний будет зависеть от точности воспроизведения влияющих внешних сил, порождаемых ими напряжений, давлений и усилий. При некорректных алгоритмах репликации условий работы существующих объектов модель формирует мир взаимодействующих реконструктивных образов, несколько отличный от следствий действия реальных физических законов и технологических требований регламентного функционирования технической системы. Подобная реконструкция реальности способна развиваться в динамике и функционировать с определёнными равновесными режимами моделированных процессов [3]. Однако неполнота и неточность алгоритмической репликации действительных процессов будут приводить к результатам моделирования, отличающимся от эталонных. Поэтому важно определить условия развёртывания модельной интерпретации процессов, приводящие к непротиворечивому, с точки зрения физики, и технологически корректному прототипированию станционных операций. Самодостаточность модели в этом отношении должна базироваться на информационных процедурах самотестирования состояний объектов, определяющих достоверность реконструктивных процессов на соответствующих сравнительных сопоставлениях.

Целью излагаемого в статье исследования является формирование позиций сравнения модельных и прототипных технологических процессов работы железнодорожной станции с определением уровня допустимых отклонений от заявленного шаблона и корректировки информационной реконструкции при её выходе за пределы нормального функционирования станции. Метод системного анализа позволяет достичь поставленной цели благодаря применению входящих в него принципов единства, иерархии и модульного построения.

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ПОЗИЦИИ МОДЕЛИ И ПРОТОТИПА

При отсутствии контроля над происходящими модельными изменениями с течением времени возможно формирование событийного мира, всё менее похожего на прототипную реальность. Через некоторое время смоделированный (имитирующий реальный) и моделируемый (являющийся прототипом модельного) процессы будут различаться по определённым наблюдаемым и регистрируемым признакам. Например, моделирование операции расформирования поездов на сортировочной станции может приводить к появлению специфических визуальных эффектов, обусловленных неточной или неверной интерпретациями особенностей технологии роспуска составов (постоянно высокая скорость надвига обусловит постепенное увеличение скорости движения отцепов по спускной части горки с нагоном отцепов и, как следствие, приведёт к невозможности перевода стрелок для разделения групп вагонов по путям сортировочного парка; роспуск с горки отцепов, требующих осаживания, будет являться причиной соударения цистерн со взрывоопасными грузами, приводящего к сложно моделируемым аварийным состояниям; частый выход отцепов расформируемого состава в сортировочный парк с завышенными скоростями движения вагонов приведёт к повреждению грузов и вагонов с трудно реконструируемыми модельными состояниями).

Поэтому важно выделить позиции сравнения для технологических операций, в которых участвуют определённые объекты, что позволит сопоставить моделируемый и моделируемый процессы (рис. 1).



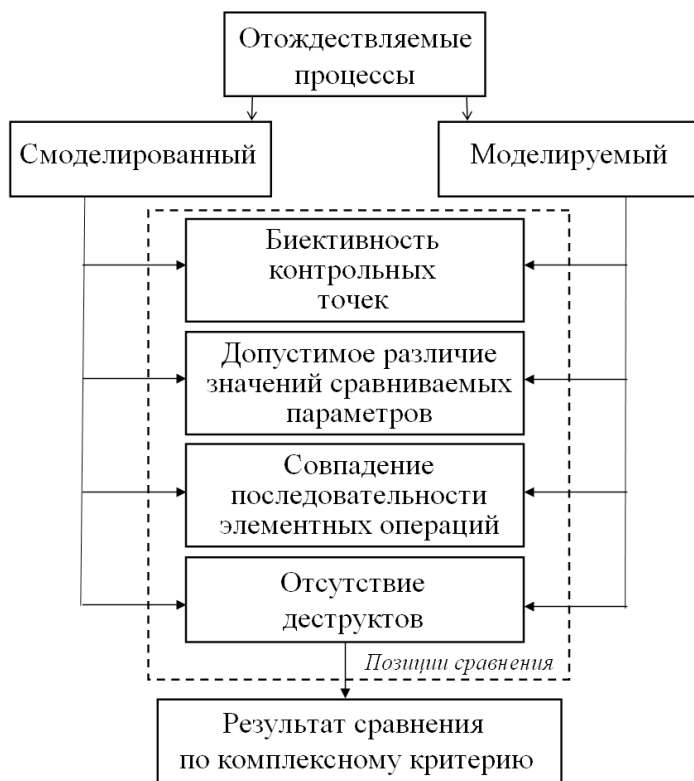


Рис. 1. Позиции сравнения модельного и реального процессов (схема автора).

Сопоставление предполагается проводить на основе эталона — некоторого заявленного технологического процесса обслуживания вагонопотоков реальной железнодорожной станции, с которым будет проводиться сравнение аналогичных модельных операций. Состояния модельных объектов, участвующих в таком технологическом процессе, можно контролировать по моментам отдельных завершённых операций (прибытия поезда на станцию, закрепления состава на путях парка приёма, выгрузки вагона).

Модельное состояние всегда фиксируется как статичный кадр некоторой исполненной операции. Этот кадр стабильно сохраняется в неизменном виде в течение определённого времени, диктуемого технологическим процессом обслуживания вагонопотоков. Такая временная задержка наблюдается в реальных процессах и связана с ожиданием выполнения следующей операции (например, для состава в парке отправления — нитки графика отправления поезда на перегон; для выгруженного вагона — маневрового локомотива с целью уборки с грузового фрон-

та). В этом случае наступает определённый перерыв в смене состояний объектов, которые в предыдущих фазах переходили в другие пространственные позиции, связанные с перемещением подвижного состава по путям, деформацией верхнего строения под действием веса вагона или напряжениями в рельсах из-за ударного воздействия по стыкам.

При отождествлении процессов важно обеспечить выполнение условия биективности (однозначности) исходных сравнительных позиций для реальных и модельных объектов. В этом случае могут возникать определённые сложности, связанные с несопоставимостью достигнутых состояний. Например, операция расформирования поездов на сортировочной станции начинается с надвига состава на горку после прицепки маневрового локомотива. Но координатные положения точек сцепления локомотивов в парке приёма для реальной и модельной ситуаций не совпадают из-за предыдущих неточностей учёта различных факторов, повлиявших на оценку скорости модельных объектов. Однако если величина различия в положениях

точек локомотива реконструируемого образца и прототипа не превышает пределов разброса этих значений по различным поездкам с одинаковым количеством вагонов, принимаемым на станцию, и путям приёмоотправочного парка с соразмерной длиной, то можно считать, что исходные позиции тождественны. При этом координатные положения локомотива модели при таком различии являются контрольной точкой для дальнейшей привязки результатов моделирования.

Различными по позициям сравнения для модели и эталона могут оказаться значения таких важных расчётных характеристик, как скорость движения отцепов при скатывании с горки, время погрузки вагонов на грузовом терминале, продолжительность передвижения локомотивов по маршрутам подачи к составу и др. В этом случае также необходимо оценивать модельные отклонения и принимать решение о допустимых колебаниях результатов репликации технологических процессов в пределах зоны вариабельности.

Важной позицией сравнения является совпадение последовательности элементарных операций для моделированного и моделируемого процессов. Например, после погрузки вагона-зерновоза требуется проведение операции взвешивания, которая в зависимости от конструкции вагонных весов выполняется различными способами: накатыванием локомотивом вагона на весы с расцепкой или без неё, с остановкой на весах или в движении. В модельном представлении взвешивание вагона может быть определено одной обобщённой схемой перемещения подвижного состава через весы с суммарным временем, равным технологическому для полного цикла выполнения данной операции. При моделировании такой и подобных ей операций возникает вопрос о степени детализации соответствующего процесса, отражающего существенные связи с прототипной технологией. Поэтому в модели допустима свёртка незначимых операций, которая приводит, в конечном итоге, к увеличению длительности некоторой интегрирующей схемы, включающей в себя скрываемые от визуализации микрооперации без потери качества проектирования и достигаемых целей моделирования.

Если модельная технологическая операция выполняется с нарушениями физики процессов или требований технологии, то может возникнуть событие, именуемое «деструктом». При моделировании работы железнодорожной станции деструктивными следует считать состояния, приводящие к:

- появлению парафизических конструкций, не наблюдаемых в реальном мире (например, длительный отрыв колёс подвижного состава от опорной плоскости движения; погрузка насыпного груза в вагон с углом откоса, резко отличным от естественного);
- выполнению операций с характеристиками, запрещёнными технологическими требованиями (скорости движения отцепов на спускной части горки более 30 км/ч; время слива нефтепродуктов из цистерны 10 ч; высота штабеля металлопроката в складе 5 м);
- нарушению норм безопасности движения (неплотное прилегание остряка к рамному рельсу стрелочного перевода; ложная свобода пути; развал груза на открытом подвижном составе);
- негативным последствиям нарушения норм безопасности (сход или столкновение подвижного состава).

Следует отметить, что моделирование технологических операций с опасными состояниями обладает широким потенциалом некорректного развития и завершения реконструируемых процессов. Однако эти возможности специфичны и связаны с разработкой особых катастрофных моделей, в которых подобные состояния являются разрешёнными [4].

Таким образом, сопоставление смоделированного и моделируемого процессов по соответствующим позициям сравнения (см. рис. 1) позволит контролировать развитие модели в пределах определённого диапазона допустимых отклонений от типового технологического процесса.

Такой модельный подход заимствуется из реальных технических систем, где дальнейшее развитие процесса предопределяется конкретными целями достижения необходимого состояния. Если на момент завершения некоторой операции диагностируется значительное отклонение контрольного параметра, то соответствующим



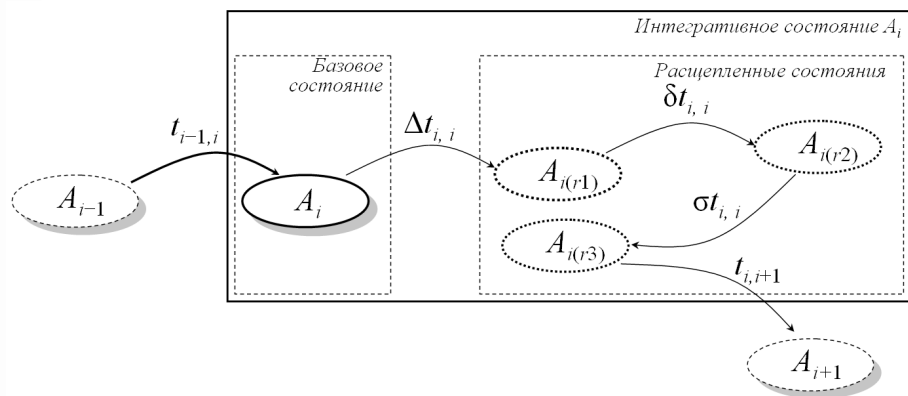


Рис. 2. Связь базового и расщеплённых состояний (схема автора).

ресурсным обеспечением системы будут приняты меры, приводящие к нормализованному значению контрольного параметра на момент завершения следующей операции. Например, при значительном превышении времени нахождения местного вагона на железнодорожной станции будут предприняты меры для ускорения подачи подвижного состава на пункты погрузки-выгрузки.

Подобное воздействие на динамику развития процессов позволяет также исправлять линии тренда модельных событий в сторону соответствия наблюдаемым следствиям действия законов физики и требованиям технологии при некорректном описании процессов.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ СТАНЦИИ С УЧЁТОМ ОЖИДАНИЙ И ПРОСТОЕВ

Пусть O_i — элементарная операция, выполняемая на станции (например, закрепление состава на пути парка приёма); $t_{i-1,i}$ — время перехода в данное состояние; O_{i+1} — следующая элементарная операция, наступающая через некоторый промежуток времени $t_{i,i+1}$ (для приводимого примера — это время раскрепления состава). Кроме длительности основного времени перехода в новое состояние, в модель вводятся возможные дополнительные ожидания $\Delta t_{i,i}$, связанные с производством других операций, обуславливающих O_{i+1} (например, передвижение маневрового локомотива под состав, освобождение маршрута выхода с парка приёма на горку). Кроме того, начало выполнения O_{i+1} может быть задержано на время $\delta t_{i,i}$, обеспечивающее полу-

чение некоторого системного эффекта (например, ожидание подачи маневрового локомотива в парк приёма из-за необходимости работы этого локомотива в сортировочном парке для формирования поезда), а также связанное с непроизводительным простоем $\sigma t_{i,i}$, который для реальных железнодорожных станций является, как правило, следствием действия человеческого фактора. Таким образом, длительность перехода в новое состояние объекта железнодорожной станции определяется необходимым технологическим временем и возможными дополнительными ожиданиями:

$$t_{\text{пер}(i+1)} = t_{i,i+1} (+ \Delta t_{i,i}) (+ \delta t_{i,i}) (+ \sigma t_{i,i}).$$

Как правило, нормальное развитие процесса требует новых переходов без каких-либо временных задержек ($t_{\text{пер}(i+1)} = t_{i,i+1}$).

Любое состояние объекта характеризуется определённым набором атрибутов. Переход объекта в новое состояние сопровождается изменением этих характеристик. Время нахождения в данном состоянии является основным атрибутом объекта. В определённых случаях объект, находясь в данном состоянии, может претерпевать атрибутивные изменения. Например, закреплённый подвижной состав в парке приёма станции подвергается техническим и коммерческим операциям, оставаясь при этом в одном и том же пространственном положении.

Переход в новое состояние рассматривается как выполнение следующей в технологическом цикле операции и возникает в результате некоторого внешнего воз-

действия на объект, приводящего к изменению его положения. При отсутствии такого воздействия объект находится в ожидании следующей операции. В этом состоянии у данного объекта изменяются некоторые его свойства (в частности, общая продолжительность пребывания в достигнутом состоянии). Поэтому ожидание рассматривается как условный переход в квазисостояние, близкое к текущему, несущественно изменённому. В этом случае происходит своеобразное расщепление достигнутого состояния A_i на ряд $A_{i(r)}$ (рис. 2).

Для приведённого на рис. 2 примера нахождения состава в парке приёма станции (базовое состояние) возможен переход к ряду расщеплённых состояний, не приводящих к изменению пространственного положения при следующих воздействиях:

- $\Delta t_{i,i}$ — выполнении операции технического осмотра вагонов во время нахождения состава в парке приёма в закреплённом башмаками состоянии. В результате осуществляется переход в некоторое расщеплённое состояние $A_{i(r1)}$;
- $\delta t_{i,i}$ — подаче маневрового локомотива после осаживания вагонов в сортировочном парке, обуславливающего ожидание состава в парке приёма с переходом в другое, связанное с базовым, расщеплённое состояние $A_{i(r2)}$;
- $\sigma t_{i,i}$ — непроизводительных потерях времени, связанных с другими причинами (например, выходом из строя системы моделирования по опасному отказу), возникших после завершения операции технического осмотра и способствовавших переходу из $A_{i(r2)}$ в другое расщеплённое состояние $A_{i(r3)}$.

Подобные расщеплённые состояния $A_{i(r)}$ являются формами существования интегративного базового A_i и, по сути, представляют собой позиции, качественно не отличающиеся от породившего их базового состояния и находящиеся в области его тяготения, так как характеризуются незначительно изменённым набором атрибутивных параметров. Поэтому все квазисостояния $A_{i(r)}$ одного A_i рассматриваются как функционально связанные с ним, образующие группу энергетических гармоник, которые становятся стартовыми при переходе к новому состоянию A_{i+1} (для

примера на рис. 2 — это расформирование через операцию $t_{i,i+1}$ надвига состава на горку).

Таким образом, ожидания и простои также являются операциями, так как приводят к изменению свойств объекта, увеличивая время его нахождения в данном состоянии. Все типы операций обусловлены технологическим процессом и способствуют достижению основных целевых установок функционирования технической системы (безопасность перевозочного процесса, сохранность грузов и подвижного состава, качественное обеспечение запросов потребителей транспортных услуг и др.). В этом отношении ожидания и простои выполняют важную системную функцию целесообразного взаимодействия технологической общности объектов, выравнивая скорости проведения отдельных операций со взаимосвязанными результатами, сводимыми к одному времени их наступления. Система стремится к наиболее эффективному достижению цели с минимальными затратами ресурсов. Поэтому ожидания — это системная мера экономного использования всех станционных ресурсов, позволяющая получить результат с минимальными общими затратами.

Ожидания отличаются от простоев привязкой к технологической целесообразности. При ожиданиях переход к следующей операции задерживается по соображениям общей экономии средств на выполнение всей цепи операций соответствующего процесса. Простои имеют место в работе реальной системы и сопряжены, как правило, с ошибками лиц, принимающих решения. В модели станции простои могут рассматриваться как программная возможность остановки таймера для решения задач, выходящих за пределы реконструктивных целей (например, анализ достигнутого состояния модели для оценки эффективности алгоритма её работы или остановка функционирования модели по причине программного сбоя).

Из всех возможных переходов (операций) можно выделить три типа:

- безусловно переводящие объект в другое пространственное состояние (уборка вагонов с подъездного пути после выгрузки) (тип А);
- фиксирующие данное пространственное состояние для проведения иных регла-



Таблица 1

Связь операций, атрибутов и состояний объектов станции (составлена автором)

Типы операций	Характер изменения:	
	атрибутов	состояния
A	изменяются все	изменяется
B	изменяются некоторые	не изменяется
C	увеличивается время нахождения в текущем состоянии	не изменяется

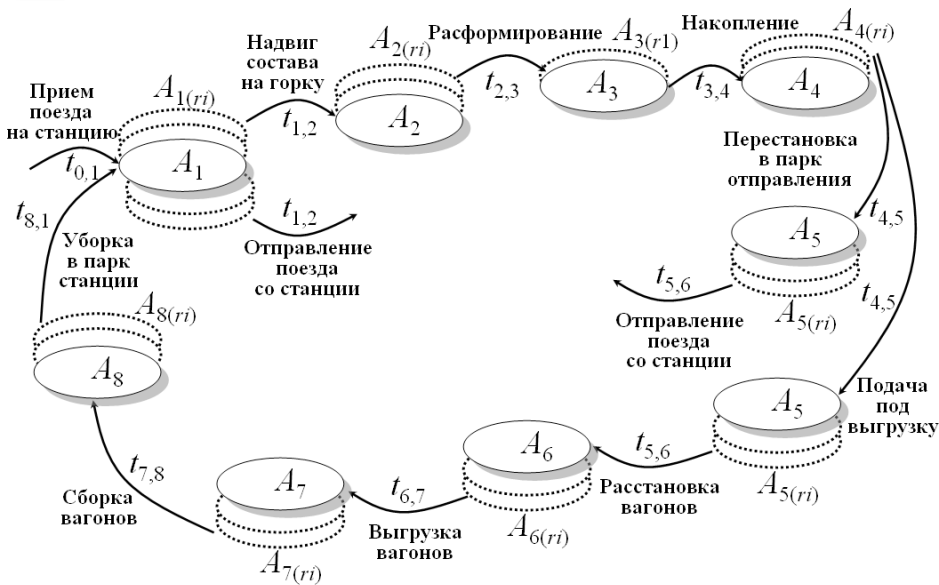


Рис. 3. Структура модельных операций репродуцируемой участковой станции (составлено автором).

ментных операций (осмотр состава в техническом и коммерческом отношении после закрепления на путях парка приёма, расцепка вагонов с надвигом на сортировочную горку) (тип B);

- задерживающие достигнутое состояние (ожидания и простои подвижного состава) (тип C).

Характеристика указанных операций приведена в табл. 1.

МОДЕЛЬНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА СТАНЦИИ

Определим технологические операции, выполняемые на железнодорожной станции и подлежащие модельной реконструкции. Сводный обобщённый перечень этих операций включает те, что приводят к изменению пространственного положения единиц подвижного состава:

- приём (отправление) поезда (передачи) на станцию;

- отцепка (прицепка) вагонов от состава (передачи, подачи);
- расформирование состава (передачи, подачи);
- накопление состава поезда (передачи, подачи) на пути сортировочного (сортировочно-отправочного) парка;
- подача (уборка, перестановка) состава (передачи группы, вагона);
- погрузка (выгрузка, перегрузка) подачи (вагона);
- расстановка (сборка, формирование) подачи (передачи, состава).

Из этих операций можно сформировать необходимый перечень технологического конструктива объектов модельного пространства. Пусть для модели участковой станции реализуется граф состояний и переходов, отображённый на рис. 3.

Приведённый граф состояний объектов подвижного состава позволяет моделировать технологические процессы обслуживания различных категорий вагонопото-

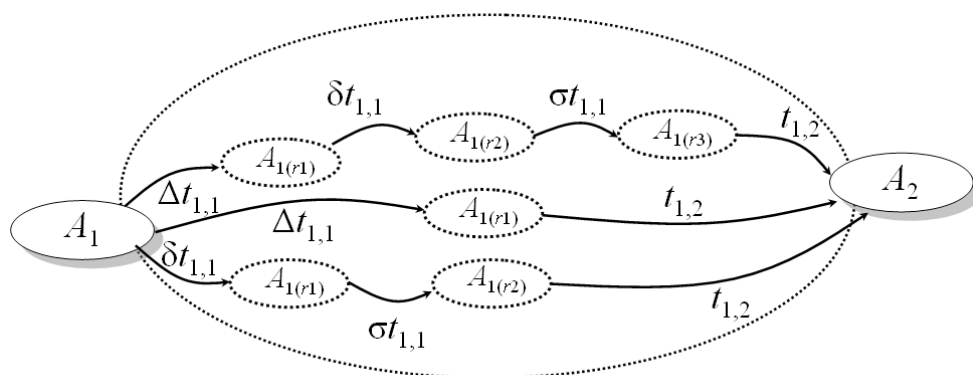


Рис. 4. Связь состояний A_1 и A_2 через $A_{1(r)}$ (составлено автором).

ков: транзитного без переработки ($t_{0,1} \rightarrow A_1 \rightarrow t_{1,2}$), с переработкой ($t_{0,1} \rightarrow A_1, \dots, A_5 \rightarrow t_{5,6}$) и местного ($t_{0,1} \rightarrow A_1, \dots, A_8 \rightarrow t_{8,1}$). Любое базовое состояние A_i переходит в A_{i+1} через целый ряд расщеплённых состояний $A_{i(r)}$, обусловленных различными ожиданиями. Количество расщеплённых состояний различается для разных базовых позиций A_i . Например, при расформировании состава на горке может быть остановка роспуска (одно расщеплённое состояние $A_{3(r1)}$), которая приводит к ожиданию и соответствующему увеличению времени нахождения в данном состоянии. В других случаях возникают ожидания из-за влияния целого ряда причин различного характера, обуславливающих формирование спектра расщеплённых состояний, наследующих друг другу (рис. 4).

На рис. 4 показаны три возможных варианта связных расщеплённых квазисостояний перехода из A_1 в A_2 .

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ

Перед выполнением последующей операции O_{i+1} происходит проверка соответствия достигнутого состояния объектов, заявленных к участию в данной операции, требованиям технологического процесса. Развитие модельной реконструкции соотносится с текущим эксплуатационным положением (загрузкой элементов станционных подсистем, графиком подхода и отправления поездов, планированием местной работы). Если в момент модельного времени t_k переходы в новые состояния ожидаются по несколь-

ким технологическим операциям с различными станционными объектами, то рассчитывается значение соответствующей оценочной функции потерь от ожиданий по всем вариантам распределения наличных ресурсов между заявленными операциями. В перечне распределяемых ресурсов: маневровые локомотивы, вагоны, пути парков, станционные маршруты передвижения, погрузо-выгрузочные пункты, нитки графика отправления поездов со станции. В результате сравнения различных вариантов перехода к новому состоянию A_{i+1} определяется наиболее эффективный по минимуму затрат вариант с формированием соответствующего набора квазисостояний $A_{i(r)}$, содержащих ожидания из множества $\{\Delta t_{i,i}, \delta t_{i,i}, \sigma t_{i,i}\}$. Подобный расчёт выполняется для всех объектов станции, переходящих в новые состояния на момент времени развёртывания модельной ситуации t_k .

Достоверность прототипирования оценивается расчётным значением индекса через шкалу признаков, указывающих на вероятность выхода моделированных процессов за границы разрешённых допустимых требований. При превышении значений такой вероятности вырабатывается комплекс стимулирующих воздействий, исправляющих следствия влияния факторов, которые способны некорректно определить последующие модельные состояния.

Шкала признаков, ответственных за развитие процесса данной операции, а также являющихся и потенциальными источниками ошибочной модельной интерпре-



тации, формируется по всем событиям, происходящим с объектами в течение указанной операции. Таким образом, следующая операция проводится в модели после оценки соответствия достигнутых состояний объектов требованиям, заявленным в признаках соответствующей шкалы.

Следует отметить, что не все операции, выполняемые на станции, рассматриваются как потенциально моделируемые. В перечень реконструктивных технологических операций 3D-станции (см. рис. 3) не входят параструктивные, которые сложно моделировать, и их исключение из репродуктивной инсталляции не приводит к потере качества натурализации технологических процессов. Параструктивные операции включают классифицированный ранее тип В фиксирующих операций и некоторые другие (взвешивание вагонов, оформление и передача документов между подразделениями станции, ремонт подвижного состава). Визуализация данных операций в модели связана с воссозданием аватарных образов технического персонала, вовлекаемого в станционные процессы. Эти алгоритмически трудоёмкие компьютерные процедуры определяют в основном общий реалистичный фон трёхмерной динамической модели станции. Детализация модели в направлении визуальной реконструкции процессов, основанных на параструктивных операциях, развивает прототипирующую среду с глубокими причинно-следственными связями объектов. По мнению автора, это уровень структурного расслоения модельных конструктивов с формированием надтехнологических процессных композиций, выходящих за пределы факторных вариаций (например, определение уровня профессиональной подготовки юзерпик-аналога конкретного работника службы технического персонала). Таким образом, представляется возможность создания паратехнологических моделей с целеполагаемыми стимулами систем объектов, обладающими мотивационными и поведенческими свойствами, присущими социоориентированным информационным системам.

ВЫВОДЫ

Таким образом, можно сформировать информационную среду моделирования

станционных технологических операций с визуализацией в трёхмерном представлении всех пространственных изменений, связанных с передвижением подвижного состава по путям парков станции. Выполнение каждой последующей технологической операции предваряется анализом достигнутого состояния и построением плана дальнейшей работы посредством нахождения рационального варианта использования наличных ресурсов, распределяемых между планируемыми операциями. Такой компьютерный диспетчер соразмеряет темпы исполняемых операций с достижением максимального результата, выражаемого некоторой функцией потерь, приводящей к дополнительным ожиданиям при выполнении технологических операций.

Кроме технологических ожиданий в модель станции вводится непроизводительный простой $\sigma t_{i,i}$, который в реальных условиях работы станции интерпретируется как результат непродуктивной работы управляющего персонала, обладающего недостаточной квалификацией, или связан с другими качествами. В информационном аналоге прототипируемой станции этот компонент пока не имеет привязки к определённой модельной ситуации, но в дальнейшем, возможно, будет задействован для формирования более эффективной и, вместе с тем, более приближённой к реальности динамической модели железнодорожной станции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Головнич А. К. Адаптивные алгоритмы реконструкции технологических процессов на трёхмерных моделях технических систем // Проблемы физики, математики и техники. ГГУ, Гомель. — 2017. — № 4 (33). — С. 89–95. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30781075>. Доступ 09.04.2020.
2. Головнич А. К. Особенности экспериментов на процессной модели станции // Мир транспорта. — 2017. — № 2. — С. 32–37. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1150/1426>. Доступ 09.04.2020.
3. Головнич А. К. Функционально-прототипирующая 3D-модель железнодорожной станции на основе физики процессов / Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов // Межвуз. сб. тр. Гомель, БелГУТ. — 2019. — С. 15–39. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41239020>. Доступ 09.04.2020.
4. Головнич А. К. Концептуальные основы разработки трёхмерных компьютерных моделей железнодорожных станций: Монография. — Гомель, БелГУТ, 2019. — 199 с. ●



Verifiable Structure of Technological Processes in Dynamic 3D Models of Railway Stations



Golovnich, Alexander K., Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus.

Alexander K. GOLOVNICH

ABSTRACT

The article is devoted to the study of technological processes at railway stations reproduced in a three-dimensional model from the standpoint of assessing reliability of the development of those processes. The identifiable simulated and virtual processes are matched against specific comparative positions. The benchmark is a fixed set of technological series of operations for processing wagon flows of all categories at a particular railway station.

To provide adequacy of model reconstruction to the prototype, the emerging waiting time and downtime of rolling stock are considered, which are introduced into the model as special split states of main spatial locations of rolling stock. The concept of «paraphysical structures» is introduced into the developed model of the station, which comprises any conditions impossible according to physical canons and irrational according to technological requirements regarding the objects of track development and rolling stock. The logic of program control over similar states of modelled structures is based on the analysis of the allowed positions of station objects when performing

reference technological operations. Slowdown in station operations can be a forerunner to waiting or downtime.

An important methodological basis for the technique for developing a dynamic model of a station includes formation of a system of internal program analysis of the current situation, recognition of the moment of occurrence of a paraphysical situation and its anticipation by transforming it into normally developing standard situation. The adapting module of the information prototyping environment should be an intelligent agent with developed ability of generating exceptional situations based on comparative tests conducted by it, of developing an appropriate knowledge base and of using it in the process of further operations without any external users' participation.

The objective of the study, described in the article, is associated with development of general requirements for a dynamic model of a railway station, functioning adequately to a real technical system due to assessment of reliability of reproduced station technological processes.

Keywords: railway, 3D modelling, railway station, model validity criteria.

*Information about the author:

Golovnich, Alexander K. – D.Sc. (Eng), Professor at the Department of Design, Construction and Operation of Transport Facilities of Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus, golovnich_alex@mail.ru.

Article received 09.04.2020, accepted 25.09.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 6.

Background. Modelling the processes of processing wagon flows at a railway station with three-dimensional visualization of the technological operations performed is an effective direction of digitalization of traffic management. The implementation of algorithms for functioning of model objects, adequate to the physics of the processes of interaction between the track and rolling stock, as well as to the technology requirements not only in terms of external form, but also regarding internal properties, will allow creating a physical data model of a station [1; 2]. Since the reconstruction processes of changing the states of model objects are based on correct interpretation of the physical interactions of bodies, the entire modelling process results in consistent consequences that are adequate to real station events. However, the degree of reliability of the simulated states will depend on accuracy of simulation of influencing external forces, stresses, pressures, and efforts generated by them. With incorrect algorithms for replicating the operating conditions of existing objects, the model forms a world of interacting simulated images, somewhat different from the effects of action of real physical laws and technological requirements for the routine operation of a technical system. Such a simulation of reality is capable to dynamically develop and function under certain equilibrium modes of simulated processes [3]. However, incompleteness and inaccuracy of algorithmic replication of real processes will lead to simulation results that differ from the referenced ones. Therefore, it is important to determine the conditions for deployment of a model interpretation of processes, leading to consistent from the point of view of physics and technologically correct prototyping of station operations. The self-sufficiency of the model in this regard should be based on information procedures for self-testing of the states of objects that determine reliability of simulation processes based on appropriate comparative procedures.

The *objective* of the research, described in the article, is to set positions for comparing model and prototype technological processes of railway station operations, determining the level of permissible deviations from the declared template and of updating data simulation when it goes beyond normal functioning of the station. The *method* of

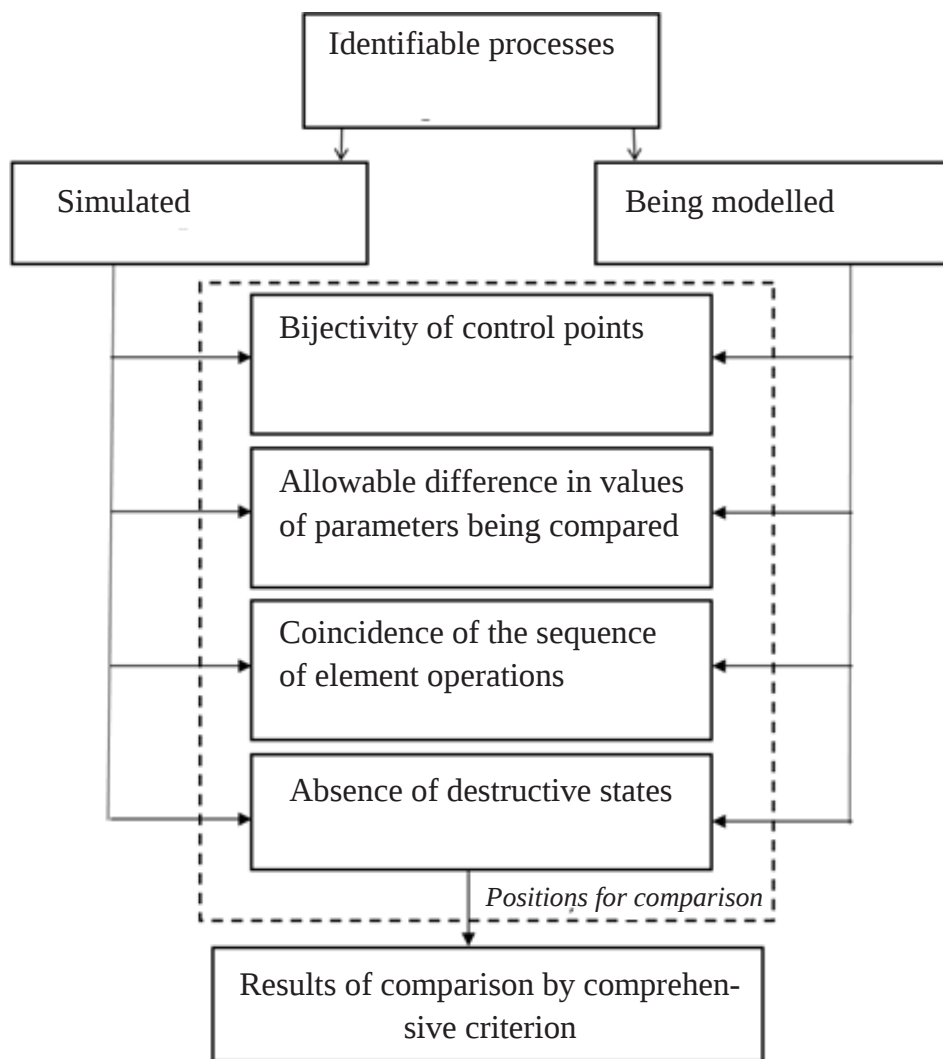
system analysis allows achieving this objective due to application of its principles of unity, hierarchy, and modularity.

Comparative positions of a model and a prototype

In case the control over the ongoing model changes is missing, an event world might be formed over time, which is less and less similar to the reality prototype. After some time, the simulated (imitating real) and modelled (being the prototype of the model) processes will differ by certain observable and recorded features. For example, modelling the operation of disassembling trains at a marshalling yard can lead to appearance of specific visual effects due to inaccurate or incorrect interpretations of the features of the technology for disassembling trains (a constantly high speed of pushing trains to the hump will cause a gradual increase in speed of movement of uncoupled wagons (blocks of them) along the incline of the hump, that will in turn make newly uncoupled wagons catch up with previously uncoupled ones, and will result in impossibility of setting switches to guide groups of wagons to different tracks of the marshalling yard; humping of uncoupled blocks of wagons that need further pushing for compression might cause collision of tanks with explosive cargo, leading to difficult-to-simulate emergency conditions; frequent release of uncoupled blocks of wagons of disassembled train from the hump to the marshalling yard tracks with overrated wagon speeds might lead to damage to cargoes and wagons with difficult-to-reconstruct model states).

Therefore, it is important to highlight the positions for comparison regarding technological operations in which certain objects are involved, which will make it possible to compare the simulated process and the process being modelled (Pic. 1).

The comparison is supposed to be carried out based on a standard (reference benchmark) which is a certain stipulated technological process of processing wagon flows at a real railway station, with which similar model operations will be compared. The states of the model objects participating in such a technological process can be monitored by the moments of completion of individual operations (arrival of a train at the station, securing the train on the receiving tracks of the marshalling yard, wagon unloading).



Pic. 1. Positions for comparing model processes with real processes (compiled by the author).

The model state is always fixed as a static frame of some executed operation. This frame is stably kept unchanged for a certain time, dictated by the technological process of processing wagon flows. Such a time delay is observed in real processes and is associated with waiting for the next operation to be performed (for example, for a train on the departure tracks park it is waiting for assigned time within departure schedule to go to the main railway track, for an unloaded wagon it is waiting for a shunting locomotive that will remove the wagon from the track intended for unloading). In this case, there comes a certain break in the change in the states of objects, which during the previous phases have moved to other spatial positions associated with movement of rolling stock

along the tracks, deformation of the track superstructure under the influence of weight of the wagon or stresses in the rails due to the shock effect at the joints.

When matching processes, it is important to ensure that the condition of bijectivity (unambiguity) of initial comparative positions for real and model objects is met. In this case, certain difficulties may arise due to the incomparability of the achieved states. For example, operation of disassembling trains at a marshalling yard starts with pushing of a train over the hump after a shunting locomotive has been coupled. But the coordinate positions of the coupling points of locomotives on the receiving tracks do not coincide for real and model situations due to previous inaccuracies in consideration of various factors that





Photo JSC Russian Railways: <https://company.rzd.ru/ap/media/resources/316795>

influenced the assessment of the speed of model objects. However, if the magnitude of the difference in positions of points of the locomotive of the simulated image and of the prototype does not exceed the limits of the scatter of these values for different trains with the same number of wagons received at the station and for receiving and departure tracks with a commensurate length, then we can assume that the initial positions are identical. In this case, the coordinate positions of the model locomotive with such a difference constitute a control point for further referencing of the simulation results.

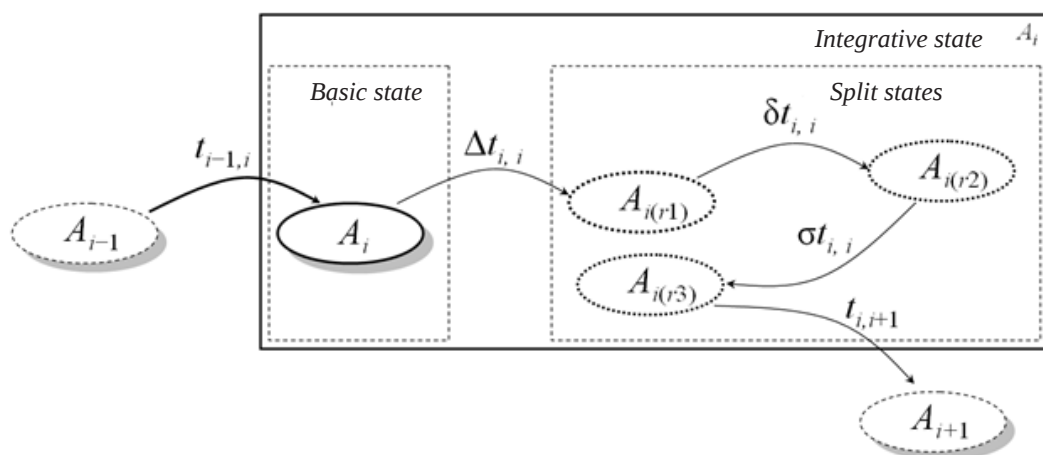
The values of such important considered characteristics as speed of movement of uncoupled blocks of wagons when rolling down a hump, loading time for wagons at the cargo terminal, duration of movement of locomotives supplied to the train along the route to the train, etc., may be different for compared positions for the model and the standard. In this case, it is also necessary to evaluate the model deviations and decide on acceptable fluctuations in the results of replication of technological processes within the variability zone.

The coincidence of the sequence of element operations for the simulated process and the process being modelled also constitutes an important point of comparison. For example, a weighing operation is required after loading a grain-hopper wagon, which, depending on

design of the wagon scale, is performed in various ways: by pushing the wagon onto the scales with or without uncoupling, with a stop on the scales or in motion. In the model representation, the weighing of the wagon can be determined by a single generalized scheme of moving the rolling stock through the scales, the total time is equal to the technological time for the full cycle of this operation. When simulating such and similar operations, the question arises about the degree of specification of the corresponding process, reflecting significant links with prototype technology. Therefore, the model allows the convolution of insignificant operations, which ultimately leads to an increase in duration of some integrating circuit, which includes micro-operations hidden from visualization without loss of design quality and any impact on the modelling goals.

If a model technological operation is performed with violations of the physics of processes or requirements of the technology, then a destructive event¹ may occur. When simulating the operation of a railway station, states should be considered destructive if they lead to:

¹ The author in the original Russian text introduces a new, not previously used, term that can be literally translated as a noun «destruct». That is not equal to term «destructor», but makes allusion to antonym to the term «construct» used in programming. — *Ed. note.*



Pic. 2. The relationship between the basic and split states (compiled by the author).

- emergence of parapsychical structures that are not observed in the real environment (for example, a long separation of wheels of a rolling stock from the movement supporting plane; loading of bulk cargo into a wagon under a slope angle sharply different from the natural one);

- performance of operations with characteristics prohibited by technological requirements (speed of movement of uncoupled block of wagons at the hump decline exceeds 30 km/h; time for unloading oil products from the tank is 10 hours; height of the rolled metal stack in the warehouse is 5 m);

- violation of traffic safety standards (excessive gap between the point and the frame rail of the turnout switch; false information on the free track; collapse of cargo on open rolling stock);

- negative consequences of violation of safety standards (derailment or collision of rolling stock).

It should be noted that modelling of technological operations with hazardous conditions has a wide capacity of incorrect development and completion of simulated processes. However, these opportunities are specific and associated with development of special catastrophe (accident) modelling in which such states are allowed [4].

Thus, comparison of the model process and the process being modelled according to the corresponding positions of comparison (see Pic. 1) will allow controlling development of the model within a certain range of allowable deviations from a typical technological process.

Such a model approach is borrowed from real technical systems, where further development of a process is predetermined by specific goals of achieving the required state. If, at the moment of completion of a certain operation, a significant deviation of the control parameter is diagnosed, then the appropriate system resources will be provided to implement measures leading to the normalised value of the control parameter at time of completion of the next operation. For example, if normal time spent by a local wagon at a railway station is significantly exceeded, measures will be taken to accelerate supply of rolling stock to loading and unloading points.

Such an impact on the dynamics of development of processes also makes it possible to modify the trend lines of model events with an incorrect description of processes towards their compliance with the observed consequences of the action of the laws of physics and the technological requirements.

Modelling the state of station objects considering waiting time and downtime

Let O_i be an elementary operation performed at the station (for example, securing the train on the receiving track); $t_{i-1,i}$ – time of transition to this state; O_{i+1} – next elementary operation, which occurs after a certain time interval $t_{i,i+1}$ (for the given example, this is time of the train dissembling). In addition to duration of the main transition time to a new state, the model introduces possible additional waiting time $\Delta t_{i,i'}$, associated with other operations preceding O_{i+1} (for example, movement of a shunting loco-

Table 1

Relationships of operations, attributes, and states of station objects

Types of operations	Nature of changes	
	attributes	state
A	all of them change	changes
B	some of them change	does not change
C	time of stay in the current state increases	does not change

Compiled by the author.

motive to the train, the release of the exit route from the reception tracks to the hump). In addition, beginning of the execution of O_{i+1} can be delayed by time $\delta t_{i,i'}$, providing a certain systemic effect (for example, waiting for a shunting locomotive to be delivered on the receiving tracks due to the need for this locomotive's operation in the marshalling yard to assemble a train), but also considering upproductive downtime $\sigma t_{i,i'}$ which for real railway stations is, as a rule, a consequence of the human factor impact. Thus, duration of the transition to a new state of the railway station facility is determined by the required technological time and possible additional waiting time:

$$t_{\text{trans}(i+1)} = t_{i,i+1} (+ \Delta t_{i,i}) (+ \delta t_{i,i'}) (+ \sigma t_{i,i'}).$$

As a rule, normal development of the process requires new transitions without any time delays ($t_{\text{trans}(i+1)} = t_{i,i+1}$).

Any state of an object is characterized by a certain set of attributes. The transition of an object to a new state is accompanied by a change in these features. Time spent in this state is the main attribute of the object. In certain cases, an object, being in this state, can undergo attributive changes. For example, a rolling stock stationed on the receiving tracks undergoes technical and commercial operations, while remaining in the same spatial position.

The transition to a new state is considered as the execution of the next operation within the technological cycle and arises as a result of some external influence on the object, leading to a change in its position. In the absence of such an impact, the object is waiting for the next operation. In this state, this object changes some of its properties (in particular, total duration of stay in the achieved state). Therefore, waiting is considered as a conditional transition to a quasi-state close to the current state, but insignificantly changed. In this case, a kind of *splitting* of the achieved state A_i into the series $A_{i(rj)}$ occurs (Pic. 2).

For the example shown in Pic. 2 when the train is on the receiving tracks (basic state), a transition to several split states, which do not lead to a change in spatial position, is possible under the following influences:

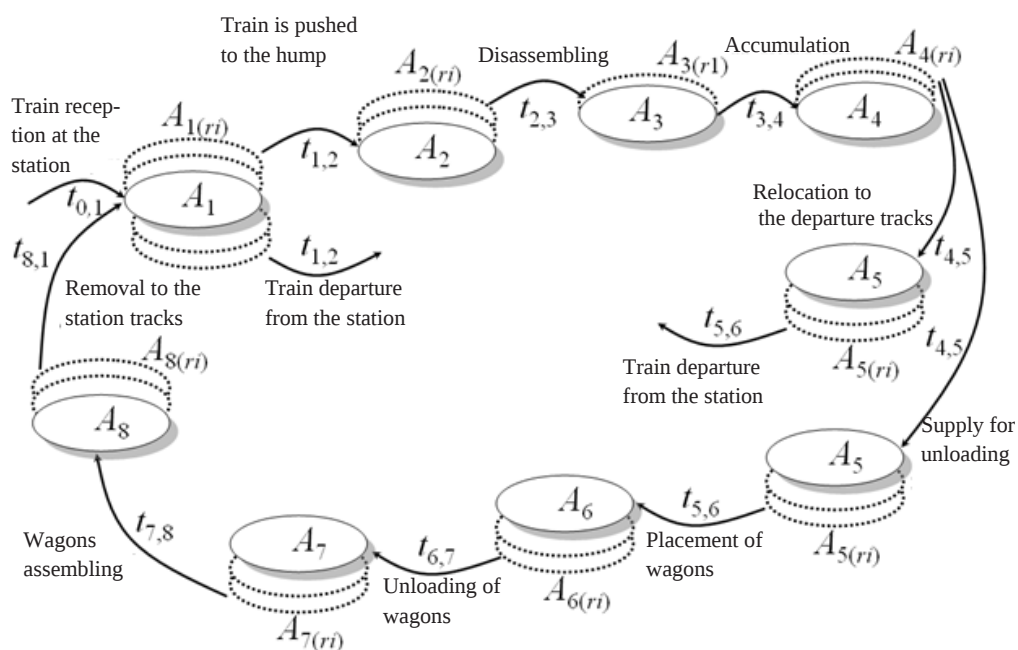
– $\Delta t_{i,i}$ – performance of the operation of technical inspection of wagons while the train is on the receiving tracks in a position secured by brake shoes. As a result, a transition to some split state $A_{i(r1)}$ occurs;

– $\delta t_{i,i}$ – supply of the shunting locomotive after pushing wagons for compression in the marshalling yard, which makes waiting for the train on the receiving tracks with the transition to another split state $A_{i(r2)}$ associated with the basic one;

– $\sigma t_{i,i}$ – unproductive time losses associated with other causes (for example, failure of the modelling system due to a dangerous failure) that arose after completion of the technical inspection operation and contributed to the transition from $A_{i(r2)}$ to another split state $A_{i(r3)}$.

Such split states $A_{i(rj)}$ are forms of existence of the integrative basic A_i and, in fact, represent positions that do not qualitatively differ from the basic state that has given rise to them and are in the region of its gravitation, since they are characterized by a slightly changed set of attributive parameters. Therefore, all quasi-states $A_{i(rj)}$ of a single A_i are considered as functionally related to it, forming a group of energy harmonics, which become starting ones during the transition to a new state A_{i+1} (for example, in Pic. 2 it is the dissemblance through the operation $t_{i,i+1}$ of pushing the train to hump).

Thus, waiting periods and downtime are also operations, since they lead to changes in the properties of an object, increasing the time it spends in a given state. All types of operations are due to the technological process and contribute to achievement of the main targets set for functioning of the technical system (safety of the transportation process, safety and security of goods and rolling stock, high-quality



Pic. 3. The structure of model operations of a simulated section station (compiled by the author).

satisfaction of requests from consumers of transport services, etc.). In this regard, waiting and downtime perform an important systemic function of the expedient interaction of the technological community of objects, levelling speed of individual operations regarding interrelated results, which are reduced to the single time of their achievement. The system strives to achieve the goal in the most efficient way with the minimum expenditure of resources. Therefore, waiting is a systematic measure of the economical use of all station resources, which allows getting a result with a minimum total cost.

Waiting time differs from downtime by the linkage to technological expedience. In case of waiting, the transition to the next operation is delayed due to the overall cost savings for the entire chain of operations of the corresponding process. Downtime occurs in operation of a real system and is associated, as a rule, with the mistakes of decision-makers. In the station model, downtime can be considered as a software ability to stop the timer to solve problems that go beyond simulation goals (for example, analysis of the achieved state of the model to assess effectiveness of the algorithm of its operation or stopping the functioning of the model due to a software failure).

Of all the possible transitions (operations), three types can be distinguished:

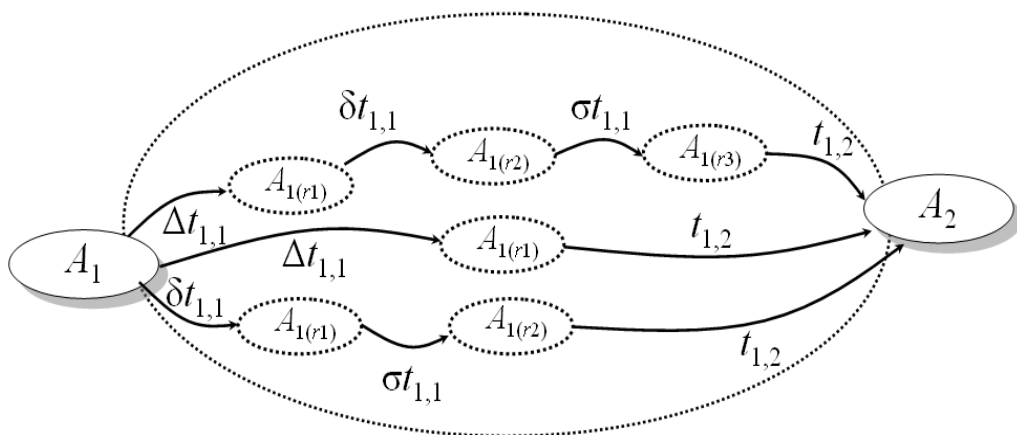
- operations unconditionally transferring the object to another spatial state (removal of wagons from the access track after unloading) (type A);
- operations fixing this spatial state for carrying out other routine operations (commercial and technical inspection of the train after securing it on the reception tracks; uncoupling of wagons with pushing them to the hump) (type B);
- operations holding the achieved state (waiting time and downtime of rolling stock) (type C).

The characteristics of these operations are shown in Table 1.

Model reconstruction of technological processes at the station

Let us identify technological operations performed at the railway station and subject to model reconstruction. The consolidated generalized list of these operations includes those that lead to a change in the spatial position of rolling stock units:

- reception (departure) of the train (delivery) to the station;
- uncoupling (coupling) of wagons from the train (delivery, supply);



Pic. 4. Relationships of states A_1 and A_2 through $A_{1(rj)}$ (compiled by the author).

- disassembling the train (delivery, supply);
- accumulation of the blocks of wagons of a train (delivery, supply) on the sorting (sorting-departure) tracks;
- supply (removal, rearrangement) of the train (delivery of a group of wagons, of a wagon);
- loading (unloading, reloading) of a delivered wagon;
- arrangement (assembling) of a delivered (transferred) train.

Using this listing, it is possible to compile a necessary list of the technological construct of the objects of the model environment. Let the graph of states and transitions shown in Pic. 3 be implemented for the model of a local station.

The given graph of states of rolling stock objects allows us to simulate the technological processes of processing various categories of wagon flows: transit without processing ($t_{0,1} \rightarrow A_1 \rightarrow t_{1,2}$), transit with processing ($t_{0,1} \rightarrow A_1 \dots A_5 \rightarrow t_{5,6}$), and local wagon flow ($t_{0,1} \rightarrow A_1 \dots A_8 \rightarrow t_{8,1}$). Any basic state A_i goes over to A_{i+1} through a whole series of split states $A_{i(rj)}$ due to different waiting situations. The number of split states differs for different A_i basic positions. For example, when a train is disassembled on a hump, there may be a stop of dissembling (a split state $A_{3(r1)}$), which leads to waiting and a corresponding increase in time spent in this state. In other cases, waiting arises due to the influence of a number of causes of different nature, and this determines formation of a spectrum of split states inheriting each other (Pic. 4).

Pic. 4 shows three possible variants of intermediate split quasi-states of the transition from A_1 to A_2 .

Process modelling quality assessment

Before performing the subsequent operation O_{i+1} , the compliance of the achieved state of the objects that will participate in this operation with the requirements of the technological process is checked. The development of the model reconstruction correlates with the current operational state (loading of the elements of station subsystems, the schedule for arrival and departure of trains, planning of local operations). If, at the moment of model time t_k , transition to new states is expected for several technological operations involving different station facilities, then the value of the corresponding estimated function of losses from waiting is calculated for all variants of distribution of available resources between the declared operations. The list of distributed resources includes shunting locomotives, wagons, yard tracks, station routes of movement, loading and unloading points, train departure schedule from the station. As a result of comparing various options for transition to a new state A_{i+1} , the most cost effective one is determined with formation of a corresponding set of quasi states $A_{i(rj)}$, containing waiting time from the set $\{\Delta t_{i,r}, \delta t_{i,r}, \sigma t_{i,r}\}$. A similar calculation is performed for all objects of the station transforming into new states at the time of deployment of the model situation t_k .

The reliability of prototyping is assessed by the calculated value of the index using a scale

of signs indicating the probability that simulated processes will go beyond the border of allowed requirements. When the values of that probability are exceeded, a system of stimulating influences is developed, correcting the consequences of the influence of factors that are capable to incorrectly determine the subsequent model states.

The scale of signs responsible for development of the process of a given operation, being also potential sources of erroneous model interpretation, is formed for all events that occur with objects during the specified operation. Thus, the next operation is carried out within the model after assessing the compliance of the achieved states of objects with the requirements stated in the features of the corresponding scale.

It should be noted that not all station operations are considered potentially simulated. The list of simulated technological operations of a 3D station (see Pic. 3) does not include *parastructural* ones, which are difficult to be modelled, and their exclusion from a simulation does not lead to a loss of quality of naturalization of technological processes. Parastructural operations include the previously classified type *B* of fixing operations and some others (weighing wagons, wording and transferring documents between station departments, rolling stock maintenance and repairing). Visualization of these operations within the model is associated with the recreation of avatar images of technical employees involved in station processes. These algorithmically time-consuming computer procedures define the general realistic background of the dynamic 3D station model. Detailing the model towards visual reconstruction of processes based on parastructural operations develops a prototyping environment with deep cause-and-effect relationships of objects. In the author's opinion, this is the level of structural stratification of model constructs with formation of supra-technological process compositions that go beyond redistribution of factor variations (for example, determining the level of professional qualification of a userpic analogue of a particular employee of the technical department). Thus, it seems possible to create *paratechnological* models with goal-oriented stimuli of object systems that have motivational and behavioural properties inherent in socio-oriented information systems.

Conclusions.

Thus, it is possible to develop an information environment for modelling station technological operations with visualization through a three-dimensional representation of all spatial changes associated with movement of rolling stock along the tracks of the station. The execution of each subsequent technological operation is preceded by an analysis of the achieved state and construction of a plan for further work by finding a rational option for the use of available resources distributed between the planned operations. Such a computer dispatcher compares the rate of operations performed with achievement of the maximum result, expressed by a certain loss function, leading to additional waiting time when performing technological operations.

Beyond technological waiting time, an unproductive downtime $\sigma_{t,i}$ is introduced into the station model, which in real operating conditions is interpreted as the result of unproductive work of the management employees who have insufficient qualifications or is associated with other features. In the digital analogue of the prototyped station, this component is not yet tied to a specific model situation, but in the future it may be used to develop a more efficient and, at the same time, more realistic dynamic model of a railway station.

REFERENCES

1. Golovnich, A. K. Adaptive algorithms for reconstruction of technological processes through three-dimensional models of technical systems [*Adaptivnye algoritmy rekonstruktsii tekhnologicheskikh protsessov na trekhmernykh modelyakh tekhnicheskikh sistem*]. *Problemy fiziki, matematiki i tekhniki. GSU, Gomel*, 2017, Iss. 4 (33), pp. 89–95. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30781075>. Last accessed 09.04.2020.
2. Golovnich, A. K. Features of Experiments Based on Process 3D Model of the Station. *World of Transport and Transportation*, Vol.15, 2017, Iss.2, pp. 32–37. [Electronic resource]: <https://mirr.elpub.ru/jour/article/view/1150/1426>. Last accessed 09.04.2020.
3. Golovnich, A. K. Functional prototyping 3D model of a railway station based on the physics of processes [*Funktsionno-prototipiruyushchaya 3D-model zheleznodorozhnoi stantsii na osnove fiziki protsessov*]. *Problems of the future development of railway stations and junctions // Interuniversity collection of works. Gomel, BelSUT*, 2019, pp. 15–39. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41239020>. Last accessed 09.04.2020.
4. Golovnich, A. K. Conceptual foundations for development of three-dimensional computer models of railway stations: Monograph [*Kontseptualnye osnovy razrabotki trekhmernykh komp'yuternykh modelei zheleznodorozhnykh stantsii: Monografiya*]. Gomel, BelSUT, 2019, 199 p.





Проблемы интеллектуального анализа данных при моделировании транспортных потоков мегаполиса



Куфтинова Наталья Григорьевна – Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия.*

Наталья КУФТИНОВА

Рассматриваются проблематика использования в транспортной модели интеллектуального анализа данных как цифровой платформы анализа данных транспортных потоков мегаполиса и предпосылки создания в будущем единых банков данных и интегрированной среды взаимодействия моделей разных уровней как кластеров цифровой экономики, которые будут учитывать все виды транспорта для оценки транспортного спроса и создания проектов организации дорожного движения мегаполиса.

Целью данной работы является исследование процессов получения количественных характеристик объектов транспортного моделирования при создании единой электронной среды с помощью вычисления производных параметров транспортной сети мегаполиса. Количественные пространственные характеристики объекта связаны с вычислением удалённости от центра города и магистральной улицы и определяются с помощью геоинформационных систем, вследствие чего возникает проблема унификации и эффективного хранения данных.

В рамках реализации поставленной цели показано, что для всех первичных транспортных данных необходимо создавать процедуру предобработки,

а также валидации, так как источники данных имеют различный формат и пространственную интерполяцию для трековых данных. Для этого рекомендуется использовать различные методы анализа данных на основе ГИС-технологий, цифрового моделирования рельефа, топологии дорожной сети и других объектов транспортной сети мегаполиса, при этом до момента использования интеллектуальных данных требуется проведение работы по форматированию и группировке исходных данных в режиме реального времени. Наиболее распространённые ошибки возникают на этапе итерационного процесса для получения количественных характеристик объектов транспортного моделирования и построения оптимальных с точки зрения времени проезда маршрутов движения по некоторой транспортной сети.

Тенденции роста городов требуют глобальной цифровизации всех объектов транспортной инфраструктуры, учитывающих изменение функций транспортной среды и интенсивности транспортных потоков. Это диктует необходимость дальнейшей разработки и применения новых информационных технологий для обработки данных с помощью нейронных сетей и других цифровых технологий.

Ключевые слова: транспортная система, транспортный поток мегаполиса, интеллектуальный анализ данных, информационные и коммуникационные технологии, транспортные расчётные районы, ГИС-технологии.

*Информация об авторе:

Куфтинова Наталья Григорьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных систем управления Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета, (МАДИ), Москва, Россия, nat.gk@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 21.04.2020, актуализирована 23.10.2020, принята к публикации 30.10.2020.

For the English text of the article please see p. 33.

ВВЕДЕНИЕ

Процесс взрывного развития информационных и коммуникационных технологий, использование сетей 5G способствуют созданию и накоплению больших массивов данных, повышают актуальность вопросов не только качественного сбора информации, но и создания единого источника данных, содержащего полную, актуальную и достоверную информацию о любой транспортной системе. На практике очень часто возникают сложности с возможностью применения для моделирования транспортных потоков неструктурированных данных, например, касающихся ёмкости транспортных расчётных районов, информации, необходимой для составления матрицы межрайонных корреспонденций. Получение таких данных связано также с оформлением официального договора и другими административными вопросами. Применение геоинформационных систем (ГИС) помогает преодолеть эти и иные проблемы, связанные с использованием статистических данных о функционировании транспортных потоков и площади паркирования в центрах массового тяготения населения мегаполиса.

В настоящем исследовании поставлена *цель* построения моделей пространственного распределения показателей объектов в виде непрерывных поверхностей на основе дискретно заданной информации с помощью ГИС-технологий для исследования закономерностей территориальных структур, обладающих свойством сплошного распространения, континуальное приближение которых зависит от степени аппроксимации и того, насколько в этой дискретной информации отражены географические закономерности. При использовании графического средства моделирования искусственных полей — искусственных изолиний (псевдоизолиний) — следует выполнять тщательную оценку репрезентативности данных, достоверности получаемых выводов и пригодности результатов аппроксимации для использования с другими слоями баз данных ГИС (БД ГИС).

Для достижения поставленной цели в исследовании были использованы *методы* прогнозирования скоростей и анализа информации о топологии дорожной сети

с помощью временных рядов и интеллектуального анализа данных для определения пространственных координат. Методы мониторинга и прогнозирования характеристик транспортного потока дорожной сети на основе пространственно-временного подхода к прогнозированию производных параметров позволяют за счёт анализа предыдущих периодов снизить влияние неполноты информации о текущем состоянии транспортного потока на прогнозные значения.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Интеллектуальный анализ данных (Data Mining) — это современная концепция, изначально предполагающая, что данные могут быть неточными, разнородными, содержать пропуски и при этом иметь гигантские объёмы [1; 2]. Подготовка и точность таких данных зависят от качества процессов:

- определения и анализа требований к данным;
- сбора данных в хранилище;
- предварительной обработки данных для обеспечения качественного анализа.

Основными источниками информации для формирования позиционной части базы данных ГИС являются карты различного назначения. Общегеографические карты позволяют создавать информационные объекты, описывающие топографические особенности территории, в первую очередь, рельеф и гидрографическую сеть, которые используются практически во всех ГИС, независимо от их тематической направленности. Тематические карты (населения, экономики, природы) являются базовыми источниками для первоначального формирования и территориальной привязки соответствующих пространственных объектов. Атрибутивная информация по большей части добавляется позже из источников данных, которые не обязательно являются пространственно-координированными. Возможно, например, использование комплексных атласов. Материалы дистанционного зондирования Земли позволяют создавать пространственные объекты напрямую, без формирования карт как промежуточного информационного слоя. Источниками атрибутивной информации также являются многолетние гид-



рологические и метеорологические данные, статистические материалы в цифровой форме, прочие текстовые материалы. Главными условиями возможности использования таких данных являются существование, на момент их ввода, пространственных объектов, к которым они относятся, и возможность однозначного соотнесения атрибутивных данных с определённым объектом или их группой.

Всего можно выделить четыре основные концептуальные функции ГИС, из которых первые две (сбор данных и обработка данных) являются подготовительными и реализуются, чаще всего, однократно (за исключением ГИС, требующих постоянной актуализации своих данных, тогда их сбор и обработка выполняются неоднократно, с определенной периодичностью). В наибольшей степени возможность получения новых знаний проявляется при анализе пространственно-координированных данных, для чего средствами ГИС выполняется построение различных концептуальных и формальных моделей.

Главной функцией ГИС является информационная поддержка управленческих решений, принимаемых по результатам анализа и моделирования на основе пространственно-координированных данных. Прикладные функции (технологические процедуры), поддерживаемые соответствующими программными средствами ГИС, включают в себя широкий перечень возможностей. Ввод и редактирование данных позволяют создавать информационные объекты на основе как картографической информации, изначально основанной на пространственно-координированных данных, так и путём прямого ввода координат объекта. Поддержка различных пространственных моделей (регулярно-ячеистых, квадротомических, векторных) средствами ГИС позволяет на основе одинаковых исходных данных создавать различные виды информационных объектов. Хранение данных осуществляется с учётом наличия в них позиционной составляющей, для чего, как правило, используются достаточно узкоспециализированные, а для атрибутивных данных, наоборот, более широкие форматы. Для организации базы данных ГИС может использоваться иерархическая или сетевая

модель, но более распространёнными являются реляционные базы.

Преобразование систем координат является часто используемой прикладной функцией ГИС. Такая необходимость может возникать уже на стадии ввода данных при использовании нескольких источников с различными системами координат. В этом случае выполняется приведение данных к некоторой единой системе. Чаще всего производится преобразование географических координат в прямоугольные координаты (Гаусса—Крюгера), и наоборот. Для хранения позиционных данных пространственных объектов более удобна система географических координат; для их визуализации и выполнения на их основе пространственного анализа более подходящей является система координат Гаусса—Крюгера. Главная особенность преобразования координат из одной системы в другую заключается в том, что криволинейный участок на земной поверхности (поверхности сфероида) невозможно без погрешности расположить («растянуть») на плоскости. Величина этой погрешности нарастает по мере удаления точки от начала прямоугольных координат, поэтому система Гаусса—Крюгера всегда охватывает только относительно небольшую площадь, в пределах которой удаление от нулевой точки не превышает несколько сотен километров. При таких расстояниях погрешность координат отдельных точек, а значит, и определяемых на их основе длин и площадей остаётся на приемлемом уровне. Обычно все данные, используемые конкретной ГИС, хранятся в единой системе координат, и необходимость их преобразования при анализе данных возникает редко. В то же время достаточно частой операцией является трансформация картографических проекций. Это связано с неоднозначностью представления на плоскости картины, изначально находящейся на выпуклой поверхности земного шара. Наиболее часто используемыми моделями в ГИС являются растровая и векторная. Возможность их взаимного преобразования в автоматическом (или максимально близком к нему) режиме является ещё одной важной прикладной функцией ГИС. Возможности по анализу и преобразованию данных, обусловленные наличием в их составе по-

зиционной составляющей, реализуются группой соответствующих функций ГИС. К ней относятся измерительные операции и операции аналитической геометрии, такие как вычисление длин, объёмов, площадей, расстояний. Полигональные операции позволяют выполнять объединение и разъединение участков, а также выявлять факты их перекрытия и попадания на заданную площадь точек и линий. Пространственно-аналитические операции применяются для анализа близости объектов, построения буферных зон, сетевого анализа (определения связности или несвязности сети, выявления кратчайшего маршрута). Геомоделирование заключается в программной реализации законов изменения параметров объектов, в том числе во времени, с последующим моделированием поведения рассматриваемой системы объектов. Цифровое моделирование рельефа рассматривается как отдельная прикладная функция ГИС. С процедурой построения рельефа тесно связаны задачи его анализа, такие, как интерполяция высот и построение изолиний. Заключительной прикладной функцией ГИС является вывод данных (в том числе визуализация пространственных объектов, их атрибутов), экспорт данных в другие информационные системы [3–6].

Проблема использования интеллектуального анализа данных является обособленной не только в работах отечественных исследователей, но и в мировом научном сообществе, в практике использования распределённых вычислений и, в частности, облачных вычислительных сред, где применяется интеграция различных технологий интеллектуального анализа данных, обработки больших данных, распределённых и облачных вычислений.

Данная проблематика представлена в популярных и научных публикациях, в том числе и по транспортной политике. Так, например, газета New York Times обозначает девять проблем больших данных [7]. Анализ подобных данных очень сложен, и поэтому в последнее время большое количество исследований посвящено разработке необходимых для этого алгоритмов, включая алгоритмы интеллектуального анализа для параллельной обработки данных в системах облачных вычислений,

а также для моделирования транспортных процессов [8–12]. Например, методы интеллектуального анализа данных были использованы для создания моделей (классификаторов) для прогнозирования серьёзности травм в любой новой аварии с разумной точностью на основе 5973 записей о дорожно-транспортных происшествиях в Абу-Даби за шестилетний период с 2008 по 2013 год. Исследование было направлено на установление набора правил, которые могут использоваться транспортными организациями Объединённых Арабских Эмиратов (ОАЭ) для определения основных факторов, влияющих на тяжесть аварии [13].

В настоящее время одним из самых популярных средств Data Mining (например, по версии *KDnuggets*¹) является система RapidMiner, разработанная одноименной компанией. Данный продукт имеет открытый исходный код (Open Source), и версия с минимальными функциональными возможностями распространяется бесплатно. RapidMiner реализует клиент-серверную архитектуру. RapidMiner Server может использоваться отдельно, предоставляя возможности интеллектуального анализа в виде веб-сервисов, тем самым реализуя модель облачных вычислений — SaaS. RapidMiner реализует все необходимые операции для анализа: загрузку и преобразование данных (ETL), предобработку данных, их визуализацию, решение задач Data Mining [14]. Он имеет открытую архитектуру, предоставляя возможность расширять его новыми алгоритмами, в том числе и реализуемыми из библиотек Weka и R.

Исходными данными для рассматриваемого нами транспортного прогнозирования являются временные ряды скоростей и информация о топологии дорожной сети, представленная, например, в виде графа. На основе пространственно-координированных данных создаются пространственные информационные объекты (рис. 1). В показанном на рисунке примере реальный физический объект на земной поверхности (участок автодороги) представлен как совокупность прямолинейных сегментов. Точность такого

¹ См., напр.: [Электронный ресурс]: <https://www.kdnuggets.com/2017/05/poll-analytics-data-science-machine-learning-software-leaders.html>.



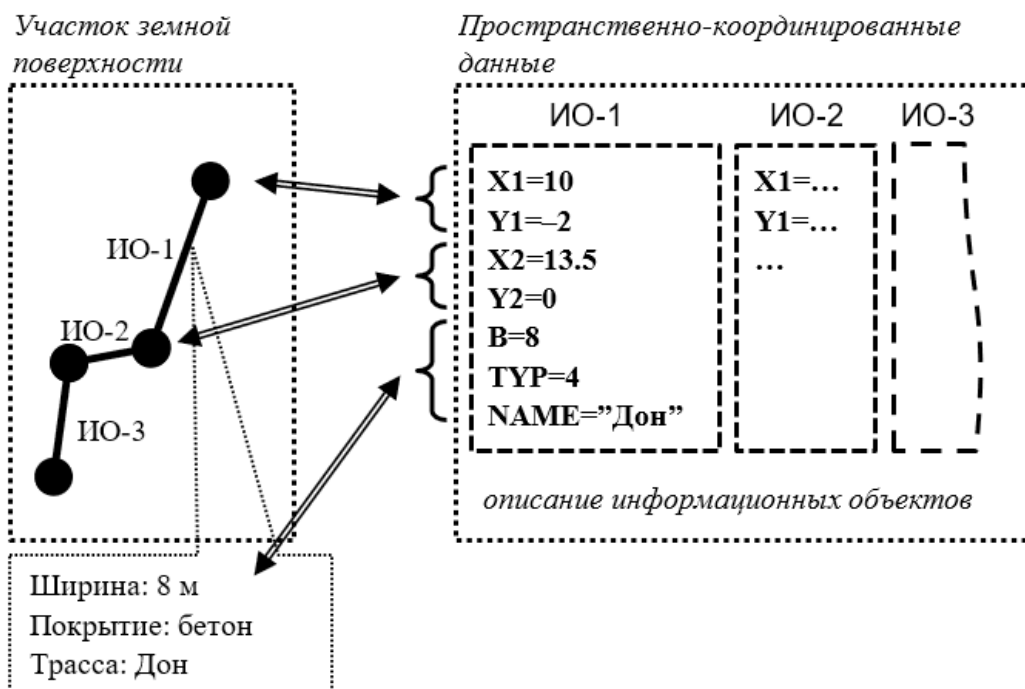


Рис. 1. Сущность пространственно-координированных данных.
(Авторский рисунок выполнен на основе работы [15]).

представления при необходимости может быть реализована сколь угодно высокой за счёт увеличения общего количества сегментов меньших размеров. Каждый сегмент описывается соответствующим ему информационным объектом (ИО-1, ИО-2 и т.д.). Для описания сегмента необходимо, во-первых, зафиксировать его положение на земной поверхности; для этого в рассматриваемом примере достаточно указать координаты его начальной и конечной точек (X_1, Y_1, X_2, Y_2). Во-вторых, каждый сегмент автодороги характеризуется определёнными эксплуатационными показателями (такими, как ширина проезжей части или тип покрытия), которые также отражаются при создании информационного объекта (с использованием атрибутов B, TYP и $NAME$).

Структура данных для создания информационных объектов разных типов будет, скорее всего, также неодинакова, но в любом случае данные будут оставаться пространственно-координированными. Все технологические процедуры при работе с пространственно-координированными данными (их ввод, редактирование, преоб-

разование, хранение, передача, отображение) имеют существенные особенности по сравнению с иными типами данных. Эти особенности обусловлены, прежде всего, необходимостью поддержания постоянной связи между позиционными и атрибутивными данными конкретных информационных объектов. Кроме того, наличие позиционной информации приводит к появлению принципиально новых возможностей, а значит, и технологических процедур для их реализации, включая отражение информационных объектов на экране (их визуализация), организацию поиска объектов в зависимости от их местоположения, в том числе относительно друг друга, и т.д. Другой часто используемой моделью пространственных объектов является квадротомическая (рис. 2). При её построении используется так называемое квадродерево, которое формируется начиная с самого высокого из возможного уровня агрегирования объектов. В примере на рис. 2 наивысший уровень агрегирования – третий; так могут быть объединены в единый элемент размером 3×3 девять объектов с атрибутом A .

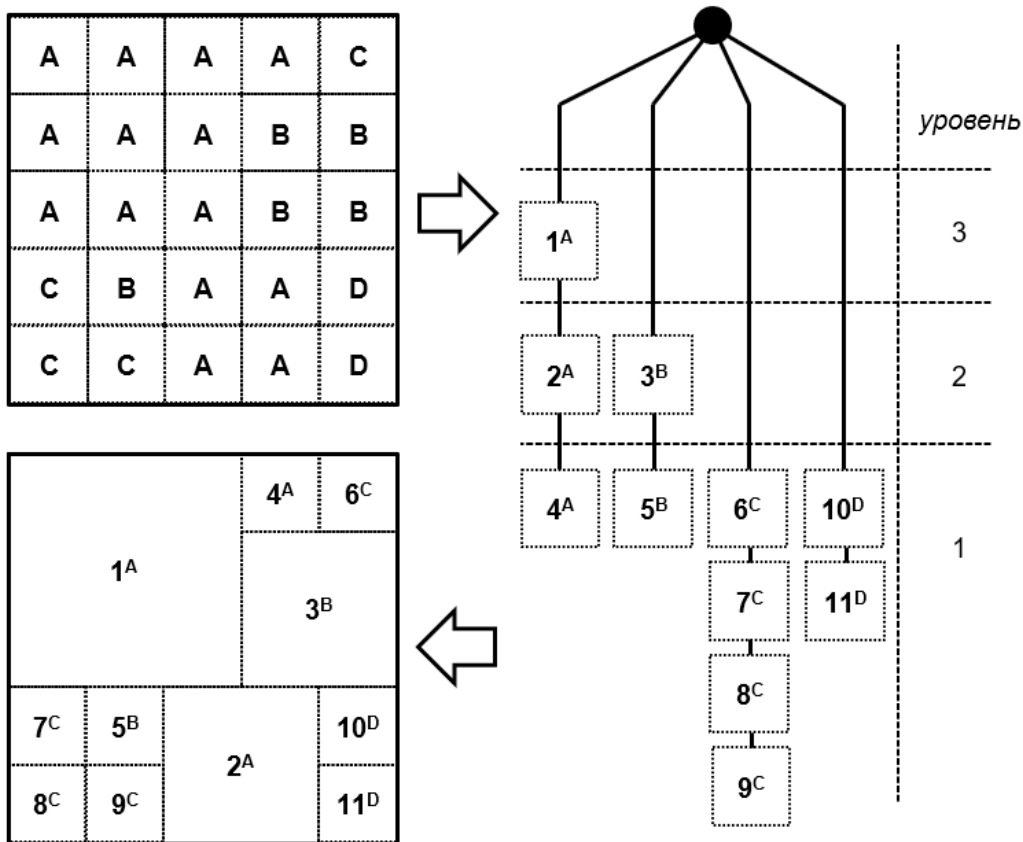


Рис. 2. Построение квадротомической модели данных.
(Авторский рисунок выполнен на основе работы [15]).

Укрупнённый объект маркируется как 1A (здесь совмещены номер объекта и значение атрибута), что отражается на квадродере и на итоговой схеме расположения объектов.

Больше возможностей агрегирования на уровне 3 нет, и производится переход к уровню 2. Здесь возможно создание двух укрупнённых объектов, маркируемых как 2A и 3B, после чего осуществляется переход к низшему уровню, на котором объекты, не имеющие возможности укрупнения, маркируются и отражаются на квадродере и на схеме расположения. В результате построения квадротомической модели на рис. 2 без потери атрибутивной информации удалось сократить общее количество объектов с 25 до 11. Уменьшенное количество объектов и обусловленная этим компактность хранения данных являются преимуществами квадротомической модели. Кроме того, квадродерево, созданное

на этапе построения модели, впоследствии может обеспечить максимально быстрый поиск объектов по заданному атрибуту. Модель отличается быстрым ростом разрешения при увеличении уровня квадродерева. Она также допускает переменный шаг при уменьшении размеров элементов по уровням.

Для описания трёхмерных объектов используется октотомическая модель, формирующая объекты в виде кубов переменного размера.

Векторная модель пространственных данных отличается максимальной гибкостью (поскольку в ней не присутствуют ограничения по форме объектов, их размерам и расположению), что одновременно приводит к необходимости полного указания всех позиционных данных для каждого объекта. Векторная модель может быть представлена в двух видах: нетопологическом и топологическом. Нетопологическая



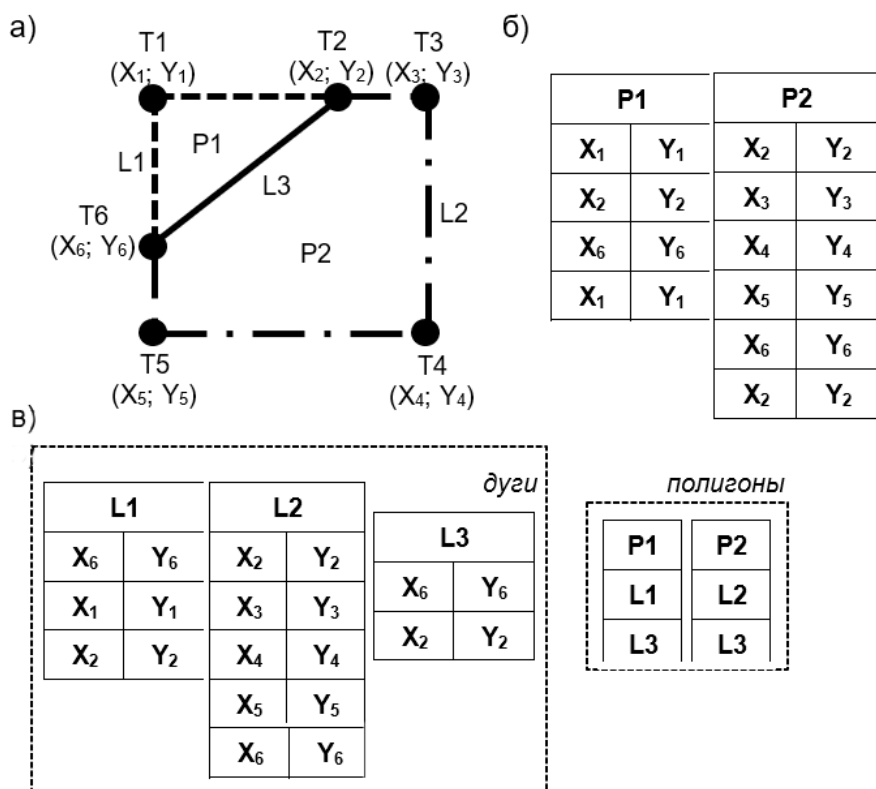


Рис. 3. Векторные модели данных: а) исходные полигоны; б) не топологическая модель; в) топологическая модель. (Авторский рисунок выполнен на основе работы [15]).

разновидность (модель «спагетти») подразумевает независимое указание границ для каждого объекта. Это приводит к тому, что данные о границах соседних объектов дублируются и, как следствие, общий объём используемых данных возрастает. Кроме того, при изменении границ какого-либо объекта необходимо выявить и синхронно изменить границы у всех соседних с ним объектов. Топологическая разновидность модели включает в себя набор отдельных полилиний (дуг), которые являются границами объектов, а также сведения о принадлежности этих дуг конкретным пространственным объектам. Дублирования информации при этом не происходит, и при редактировании границы смежных объектов изменения будут автоматически отражены для них обоих. Пример двух разновидностей векторной модели приведён на рис. 3, где показаны два полигона P1 и P2, имеющих смежную границу L3.

Нетопологическая модель содержит только указания о координатах граничных точек каждого полигона (три точки для P1

и пять точек для P2; при этом начальная точка второй раз указывается в конце списка, как знак того, что граничная полилиния замкнулась). В топологической модели сначала описаны три дуги L1, L2 и L3, после чего указано, из каких дуг состоит каждый из полигонов. Топологическая модель, по сравнению с нетопологической, отличается большей сложностью и по этой причине используется реже, в основном на этапе формирования пространственных объектов (ввода их границ). На этапе анализа и моделирования более высокое быстроедействие обеспечивает нетопологическая модель. Построение на базе элементарных пространственных элементов более сложных объектов производится в рамках определённой модели пространственных данных. Одной из простейших и, одновременно с этим, наиболее часто используемых является регулярно-ячеистая модель, пример которой показан на рис. 4.

При использовании регулярно-ячеистой модели территория разбивается на одинаковые участки (ячейки), каждый из

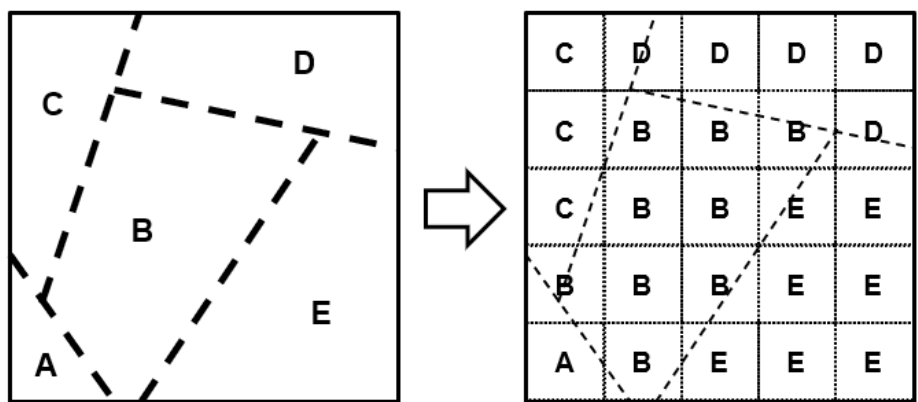


Рис. 4. Регулярно-ячеистая модель данных. (Авторский рисунок выполнен на основе работы [15]).

которых является самостоятельным пространственным объектом. Размер ячейки предопределяет пространственное разрешение модели. Атрибутивные данные для каждого объекта определяются независимо друг от друга. На рис. 4 можно видеть определение одного из пяти возможных значений атрибута. Удобной особенностью этого вида моделей является то, что пространственное положение ячейки определяется только её номером, что избавляет от необходимости указывать полные позиционные данные каждой ячейки (координаты всех угловых точек). Это даёт возможность компактного хранения информации. Например, на рис. 4 объекты могут быть описаны в виде последовательности из 25 значений атрибута (от А до Е каждое). При этом, при необходимости, координаты всех угловых точек каждого объекта могут быть легко восстановлены по его номеру. За счёт наличия идущих подряд ячеек с одинаковым значением атрибута становится возможным и ещё более компактное описание, например, C4DC3BDC2B2E3B2EAB3E (где вместо DDDD использовано обозначение 4D с экономией 2 знаков). В регулярно-ячеистых моделях возможно использование ячеек любой правильной формы, в том числе криволинейной. Также допускается применение разного разрешения и разной формы ячеек для разных атрибутов. В случае прямоугольных ячеек, единственным атрибутом которых является их цвет, модель превращается в растровую. Например, для построения оптимальных с точки зрения времени проезда

маршрутов движения по некоторой транспортной сети требуется прогнозирование скоростей транспортных средств на участках. Горизонт прогнозирования при этом должен быть не меньше типичного времени одной поездки, чтобы при построении маршрута перед выездом можно было учитывать скорости движения на участках транспортной сети, близких к цели поездки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вместе с тем, кроме использования описанных выше алгоритмов, для целей транспортного моделирования необходимо решить целый ряд проблем, связанных со сбором и обработкой первичных данных.

Для достижения максимальной производительности оцифровки необходимо учитывать ошибки, связанные с интерпретацией результатов анализа данных, например, считывания регистрационных знаков ТС. Очевидно, что прогноз зависит от времени суток, дня недели и сезона поездки. К внешним факторам можно отнести погодные условия. Кроме этого, существуют нетривиальные закономерности между скоростями движения на различных рёбрах графа дорожной сети [16; 17]. Например, очень низкая скорость на определённом участке (пробка) может вызывать снижение скорости на одних рёбрах (распространение пробки) и одновременно повышение скорости на других рёбрах за счёт того, что резко уменьшается количество попадающих на них транспортных средств (экранирование). Количество постов для сбора



данных и исследования для создания транспортной модели назначается исходя из возможности одного учётчика или видеокамеры фиксировать максимальное возможное число событий по мониторингу транспортных и пешеходных потоков. Но существует ряд проблем в отношении организации работы учётчиков, например, связанных с фиксированием разнородной информации (одновременным фиксированием входящих и выходящих потоков ТС или пешеходов). В отношении применения видеосъёмки как средства фиксирования центров массового тяготения, можно выделить такие проблемы, как проведение съёмки в тёмное время суток, обработка видеоданных вручную (оцифровка данных), недоступность восприятия числа пассажиров в ИТ даже при лёгкой «тонировке» ТС. Перечисленные проблемы приводят к резкому снижению качества получаемых и исследуемых данных транспортного моделирования.

Такие проблемы могут быть решены не только за счёт совершенствования методов и технических средств получения первичных данных, но и за счёт разработки новых информационных технологий их обработки, в частности, с помощью нейронных сетей.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 56670-2015 Интеллектуальные транспортные системы. Подсистема мониторинга параметров транспортных потоков на основе анализа телематических данных городского пассажирского транспорта. [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/1200125977>. Доступ 20.07.2020.
2. Ваксман С. А. Информационные технологии в управлении городским общественным пассажирским транспортом (задачи, опыт, проблемы) / Под ред. С. А. Ваксмана — Екатеринбург: Изд-во АМБ, 2012. — 250 с.
3. Куфтинова Н. Г. Моделирование динамики автотранспортных потоков с помощью кластерного анализа // Сб. научных трудов по итогам IV международной научно-практ. конференции «Транспортное планирование и моделирование». — СПб., 2019. — С. 106—108.
4. Куфтинова Н. Г. Математическое моделирование транспортных потоков на основе макро- и микроподходов городской транспортной системы // Сб. научных трудов по итогам III международной научно-практ. конференции «Транспортное планирование и моделирование. Цифровое будущее управления транспортом» / Под ред. д-ра техн. наук, профессора С. В. Жанказиева. — М.: МАДИ, 2018. — С. 67—76.
5. Куфтинова Н. Г. Интеллектуальная транспортная инфраструктура мегаполиса на основе геоанализа и геомоделирования автотранспортных систем // Логистический аудит транспорта и цепей поставок:

материалы международной научно-практической конференции. — Тюмень: ТИУ, 2018. — С. 76—82.

6. Куфтинова Н. Г. Общая характеристика транспортных моделей для оценки дорожной сети на городских территориях // Сб. научных трудов по итогам III международной научной конференции «Scientific Discoveries», Карловы Вары — Москва. — М., 2018. — С. 47—60. ISBN 978-5-00090-133-5.

7. Marcus, G., Davis, E. Eight (No, Nine!) Problems With Big Data. [Электронный ресурс]: https://www.nytimes.com/2014/04/07/opinion/eight-no-nine-problems-with-big-data.html?_r=0. Доступ 20.07.2020.

8. Chenyang Xu; Changqing Xu; Trieu-Kien Truong. Mining the spatio-temporal pattern using matrix factorisation: A case study of traffic flow. IET Intelligent Transport Systems, 2020, Vol. 14, Iss. 10, pp. 1328—1337. DOI: <http://dx.doi.org/10.1049/iet-its.2019.0705>. Доступ 23.10.2020.

9. Alam, O., Kush, A., Emami, A., Pouladzadeh, P. Predicting irregularities in arrival times for transit buses with recurrent neural networks using GPS coordinates and weather data. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12652-020-02507-9>. Доступ 23.10.2020.

10. Guerreiro, G., Figueiras, P., Silva, R., Costa, R., Jardim-Goncalves, R. An architecture for big data processing on intelligent transportation systems. An application scenario on highway traffic flows. 2016 IEEE 8th International Conference on Intelligent Systems (IS), 2016, pp. 65—72. DOI: 10.1109/IS.2016.7737393. Доступ 20.07.2020.

11. Kohan, M., Ale, J. M. Discovering Traffic Congestion through Traffic Flow Patterns Generated by Moving Object Trajectories. Computers, Environment and Urban Systems, March 2020, Vol. 80, Article 101426. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2019.101426. Доступ 20.07.2020.

12. Kumar, B. A., Vanajakshi, L., Subramanian, S. C. A Hybrid Model Based Method for Bus Travel Time Estimation. Journal of Intelligent Transportation Systems, 2018, Vol. 22, Iss. 5, pp. 390—406. DOI: 10.1080/15472450.2017.1378102. Доступ 20.07.2020.

13. Taamneh, M., Alkheder, S., Taamneh, S. Data-Mining Techniques for Traffic Accident Modeling and Prediction in the United Arab Emirates. Journal of Transportation Safety & Security, 2017, Vol. 9, Iss. 2, pp. 146—166. DOI: <https://doi.org/10.1080/19439962.2016.1152338>. Доступ 20.07.2020.

14. Norris, D. RapidMiner — a potential game changer. November 15, 2013. [Electronic resource]: <https://www.bloorresearch.com/2013/11/rapidminer-a-potential-game-changer/>. Доступ 17.07.2020.

15. Якубович А. Н., Куфтинова Н. Г., Рогова О. Б. Информационные технологии на автотранспорте: Учеб. пособие. Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ). — М., 2017. — 252 с. [Электронный ресурс]: <http://www.lib.madi.ru/fel/fel1/fel17E429.pdf>. Доступ 17.07.2020.

16. Mousa, S. R., Mousa, R. M., Ishak, S., Radwand, L. Modeling Speed-Density Relation for Highways in Developing Countries with No Lane Discipline: A Case Study in Egypt. 2017 ASCE India Conference, 2018, pp. 725—735. DOI: 10.1061/9780784482025.074. Доступ 17.07.2020.

17. Kong, X., Das, S., Jha, K., Zhang, Y. Understanding Speeding Behavior From Naturalistic Driving Data: Applying Classification Based Association Rule Mining. Accident Analysis and Prevention, September 2020, Vol. 144. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105620>. Доступ 23.10.2020.



The Problem of Data Mining in Modelling Traffic Flows in a Megapolis



Kuftinova, Natalia G., Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Moscow, Russia.*

Natalia G. KUFTINOVA

ABSTRACT

The article discusses the problems of using data mining in a transport model as a digital platform for analysing data on traffic flows in a megapolis, and prerequisites for creation in future of single data banks and an integrated environment for interaction of models of different levels as clusters of the digital economy, which will consider all modes of transport to assess transport demand and develop projects for organizing traffic in a megapolis.

The objective of the work is to study the processes of obtaining quantitative characteristics of objects of transport modelling when creating a single electronic environment by calculating the derived parameters of the transport network of a megapolis. Quantitative spatial characteristics of an object are associated with calculating the distance from a city centre and a main street and are determined using geographic information systems entailing consequent problem of data unification and efficient data storage.

As part of achieving that objective, it is shown that it is necessary to create a pre-

processing and validation procedure for all primary transport data, since data sources have different formats and spatial interpolation of tracking data. For this, it is recommended to use various methods of data analysis based on GIS technologies, digital terrain modelling, topology of the road network and other objects of the transport network of a megapolis. Besides, the use of intelligent data should be preceded by formatting and grouping the source data in real time. The most common errors arise at the stage of the iterative process for obtaining quantitative characteristics of objects of transport modelling and building the optimal route in terms of travel time along a certain transport network.

The existing trends of urban growth require global digitalization of all transport infrastructure objects, considering changes in the functions of the transport environment and in intensity of traffic flows. This entails further development and implementation of new information technologies for data processing using neural networks and other digital technologies.

Keywords: transport system, transport flows of a megapolis, data mining, information and communication technology, assessed transit areas, GIS-technologies.

*Information about the author:

Kuftinova, Natalia G. – Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Automated Control Systems of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia, nat.gk@mail.ru.

Article received 21.04.2020, revised 23.10.2020, accepted 30.10.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 24.

Background. The process of burst development of information and communication technologies and the implementation of 5G networks contribute to creation and accumulation of big data, rising importance of issues of high-quality data collection as well as of development of a single data source containing complete, relevant, and reliable information about any transport system. In practice, a possibility of using unstructured data (e.g., on capacity of assessed transport areas to generate and attract transit flows, on information necessary to develop matrix of inter-area trip distribution) for modelling traffic flows often meets difficulties. Obtaining such data is accompanied by signing of formal contracts and other administrative procedures. The use of geographic information systems (GIS) helps to overcome those and other problems related to the use of statistical data on current traffic flows and parking areas in the centres of gravity for the residents of the megapolis.

The study sets the *objective* of construction of models of spatial distribution of indicators of objects in the form of continuous surfaces based on discretely specified information using GIS technology to study the regularities of territorial structures that have the property of continuous distribution, the continual approximation of which depends on the degree of approximation and on the rate of reflexion of geographic patterns in that discrete information. When using a graphical tool for modelling artificial fields, e.g., artificial isolines (pseudo-isolines), careful assessment of representativeness of data, reliability of conclusions obtained and the suitability of approximation results for use with other layers of the GIS database should be performed.

To achieve this objective, the study employed *methods* for predicting speeds and for analysis of information about the topology of the road network based on time series and data mining to determine spatial coordinates. The methods for monitoring and predicting the characteristics of the traffic flow of the road network based on the spatiotemporal approach of predicting derived parameters allow through the analysis of previous periods to reduce impact of incomplete information about the current state of the traffic flow on the predicted values.

Results.

Data mining is a modern concept, which initially assumes that data can be inaccurate, heterogeneous, contain omissions and at the same time have gigantic volumes [1; 2]. The preparation and accuracy of such data depend on quality of the processes of:

- definition and analysis of requirements for data;
- collection (input) of data for storage;
- data pre-processing to ensure high-quality analysis.

The main sources of information for development of the positional part of GIS database are differently purposed maps. General geographic maps allow creating information objects describing the topographic features of the territory, primarily the relief and hydrographic network, which are used in almost all GIS, regardless of their thematic focus. Thematic maps (population, economy, physical maps) are basic sources for initial development and georeferencing of the corresponding spatial objects. Attributive information is mostly added later, from data sources that are not necessarily spatially coordinated. It is also possible to use complex atlases. Earth remote sensing materials make it possible to create spatial objects directly, without developing maps as an intermediate information layer. Sources of attributive information are also long-term hydrological and meteorological data, statistical materials in digital form, and other text materials. The main conditions for the possibility of using such data are the existence, at the time of its input, of spatial objects to which it belongs, and the possibility of unambiguous correlation of the attribute data with a specific object or their group.

In total, four main conceptual functions of GIS can be distinguished, of which the first two (data collection and data processing) are preparatory and are implemented, most often, once (with the exception for GIS which require constant data updating; then their collection and processing are performed repeatedly, with a certain periodicity). To the greatest extent, the possibility of acquiring new knowledge is manifested in the process of analysis of spatially coordinated data, for which various conceptual and formal models are constructed using GIS.

The main function of GIS is to provide information support for managerial decisions

made following the results of analysis and modelling based on spatially coordinated data. The applied functions (technological procedures) supported by the corresponding GIS software include a wide range of possibilities. Entering and editing data allow creating information objects based on both cartographic information, originally based on spatially coordinated data, and by directly entering the coordinates of the object. The support of various spatial models (grid, quadrotomic, vector models) by tools of GIS makes it possible to create different types of information objects based on the same initial data. Data storage is carried out considering the presence of a positional component in it (for which, as a rule, rather highly specialized formats are used); by contrast, attribute data uses widely accepted formats. A hierarchical or network model can be used to organize a GIS database, but relational databases are more common.

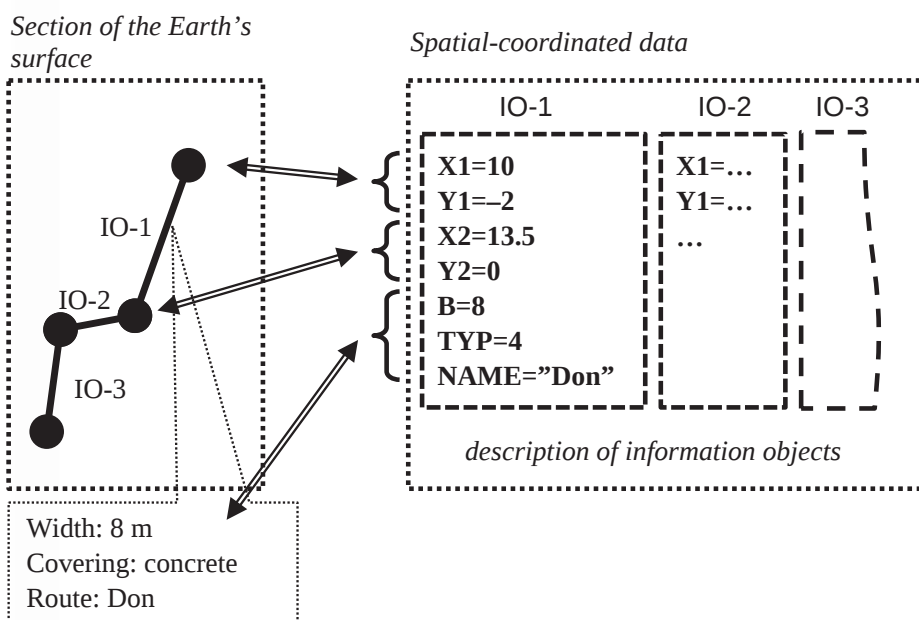
Coordinate system transformation is a commonly used GIS application. Such a need may arise already at the stage of data entry, when using several sources with different coordinate systems; in this case, data is reduced to some single unified system. Most often, geographic coordinates are converted to rectangular ones (Gauss–Krüger coordinate system), and vice versa. A geographic coordinate system is more convenient for storing positional data of spatial objects; while Gauss–Krüger coordinate system is more suitable for their visualization and implementation of spatial analysis. The main feature of transformation of coordinates from one system to another is that a curved section on the earth's surface (the surface of a spheroid) cannot be positioned («stretched») on a plane without an error. The magnitude of this error grows as the distance of the point from the origin of rectangular coordinates increases, so Gauss–Krüger system always covers only a relatively small area, within which the distance from the zero point does not exceed several hundred kilometres. At such distances, the error in the coordinates of individual points, and hence in the lengths and areas determined on their basis, remains at an acceptable level. Usually, all data used by a particular GIS is stored in a single coordinate system, and the need to transform it when analysing data rarely arises. At the same time, transformation of cartographic projections is a

fairly common operation; this is due to the ambiguity of representation on the plane of the picture, which is initially located on the convex surface of the globe. The most commonly used GIS models are raster and vector models. The possibility of their mutual transformation in automatic (or as close as possible to it) mode is another important applied function of GIS. Possibilities for data analysis and transformation, due to the presence of a positional component, are implemented by a group of relevant GIS functions. It includes measuring operations and analytical geometry operations such as calculating lengths, volumes, areas, distances. Polygonal operations allow consolidating and separating areas, as well as revealing the facts of their overlapping and hitting a given area of points and lines. Spatial-analytical operations are used to analyse the proximity of objects, build buffer zones, conduct network analysis (to determine connectivity or disconnectedness of a network, identify the shortest route). Geomodelling consists in implementation with software of the laws of change in the parameters of objects, including in time, followed by modelling the behaviour of the system of objects under consideration. Digital elevation modelling is considered as a separate applied GIS function. The procedure for constructing relief is closely related to the tasks of its analysis, such as interpolation of heights and construction of isolines. The final applied function of GIS is associated with data output, including visualization of spatial objects and of their attributes, export of data to other information systems [3–6].

The problem of using data mining stands out not only in the works of domestic researchers, but also in global scientific community, in practices of the use of distributed computing technologies, and in particular of cloud computing environment, based on integration of various technologies of data mining, processing of big data, distributed computing and cloud computing.

The range of associated topics is presented in popular and research publications, particularly in those dedicated to transport policy. Thus, for example, the New York Times magazine lists nine problems associated with big data [7]. The analysis of such data is very difficult and therefore, recently, a large number of studies have been devoted to development of relevant algorithms, including mining





Pic. 1. The essence of spatial-coordinated data. (The author's drawing is based on work [15]).

algorithms for parallel data processing in cloud computing systems, as well as for simulation of transportation processes [8–12]. For example, data mining techniques have been used to create models (classifiers) to predict severity of injury in any new accident with reasonable accuracy based on 5 973 Abu Dhabi road accident records during the six-year period from 2008 to 2013. The study aimed to establish a set of rules that can be used by the transport agencies of the United Arab Emirates (UAE) to determine the main factors influencing severity of an accident [13].

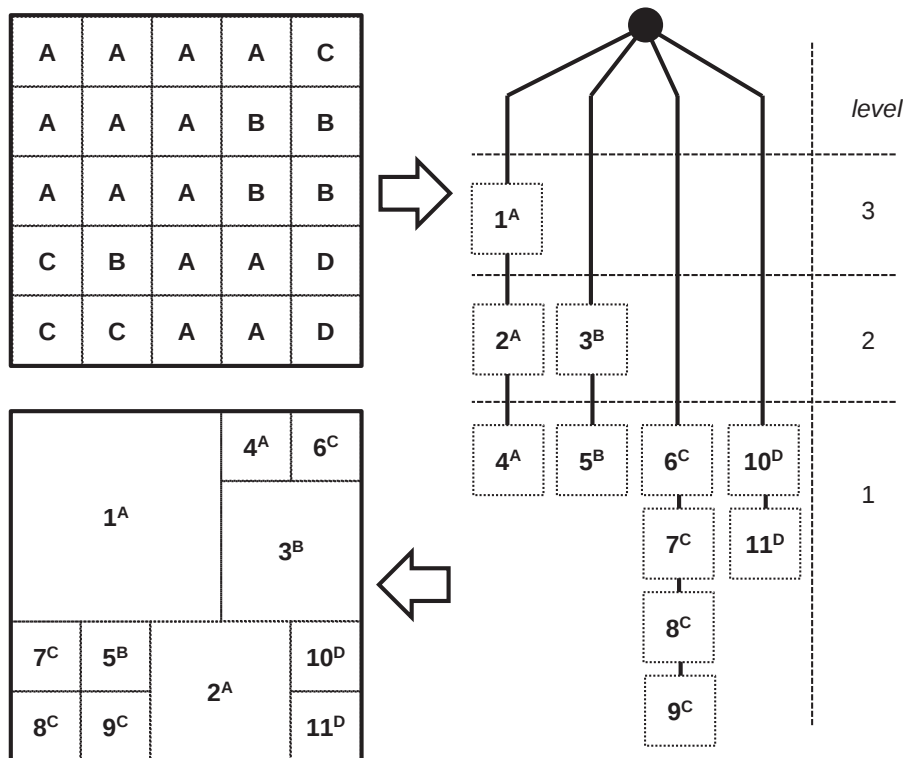
Currently, one of the most popular Data Mining tools (e.g., according to KDnuggets¹) is RapidMiner system, developed by the company of the same name. This product is Open Source, and the version with the minimum functionality is distributed free of charge. RapidMiner implements a client-server architecture. RapidMiner Server can be used on its own to provide mining capabilities in the form of web services, thereby implementing the SaaS cloud computing model. RapidMiner implements all the necessary operations for analysis: data extracting, loading, and transforming (ETL), data pre-processing, data visualization, solving data mining problems [14]. It has an open

architecture, providing the ability to extend it with new algorithms, including algorithms implemented with RWeka package.

The initial data for considered transport forecasting is provided with time series of speed and information about the topology of the road network, presented, for example, in the form of a graph. Spatial information objects are created based on spatially coordinated data (Pic. 1). In the example shown in the picture, a real physical object on the earth's surface (a road segment) is presented as a set of straight-line segments. The accuracy of such a representation, if necessary, can be made arbitrarily high by increasing the total number of smaller segments. Each segment is described by the corresponding information object (IO-1, IO-2, etc.). To describe a segment, it is necessary, first, to fix its position on the earth's surface; for this, in the example under consideration, it is sufficient to indicate the coordinates of its start and end points (X1, Y1, X2, Y2). Secondly, each road segment is characterized by certain performance indicators (such as the width of the carriageway or the type of pavement), which are also reflected while creating the information object (using the attributes B, TYP and NAME).

The data structure for creating information objects of different types will most likely also be different, but in any case, data will remain

¹ E.g.: [Electronic resource]: <https://www.kdnuggets.com/2017/05/poll-analytics-data-science-machine-learning-software-leaders.html>.



Pic. 2. Construction of a quadrotomy-based data model (the author's drawing is based on work [15]).

spatially coordinated. All technological procedures when working with spatially coordinated data (its input, editing, transformation, storage, transmission, displaying) have significant features in comparison with other types of data. These features are primarily due to the need to maintain a constant linkage between positional and attribute data of specific information objects. In addition, the presence of positional information leads to the emergence of fundamentally new opportunities, and therefore of technological procedures for their implementation: reflection of information objects on the screen (their visualization), organization of search for objects depending on their location, including relative to each other, etc. Another common model of spatial objects is using quadrotomy (Pic. 2). When building it, the so-called quadtree is used, which is formed starting from the highest possible level of object aggregation. In the example in Pic. 2 the highest level of aggregation is the third one; so nine objects with A attribute can be combined into a single 3 x 3 element.

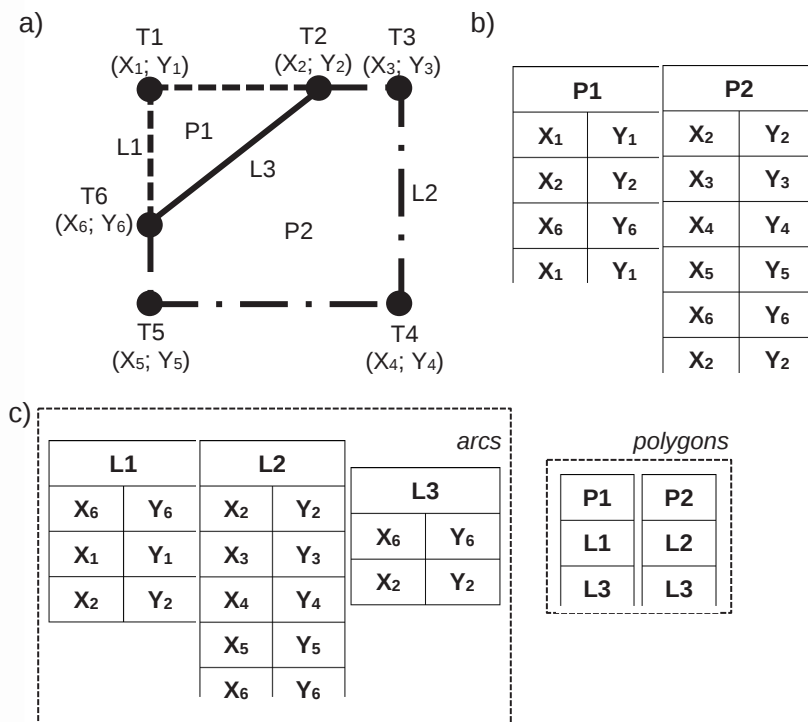
The enlarged object is marked as 1^A (here the object number and attribute value are

combined), which is reflected in the quadtree and in the final layout of objects.

Since there are no more aggregation possibilities at level 3, the transition to level 2 is made. Here it is possible to create two enlarged objects, marked as 2^A and 3^B, after which we go to the lowest level, at which objects that do not have the possibility to be enlarged are marked and reflected in the quadtree and on the layout diagram. As a result of constructing a quadrotomy model in Pic. 2, it was possible to reduce the total number of objects from 25 to 11 without losing the attribute information. The reduced number of objects, and the resulting compactness of data storage, are the advantages of the quadrotomy model. In addition, the quadtree, created at the stage of model building, can subsequently provide the fastest possible search for objects by a given attribute. The model is distinguished by a rapid increase in resolution with increasing quadtree levels number; it also allows variable spacing when downsizing elements across levels.

To describe three-dimensional objects, an octotomic model (octotree) is used, which forms objects in the form of cubes of variable size.





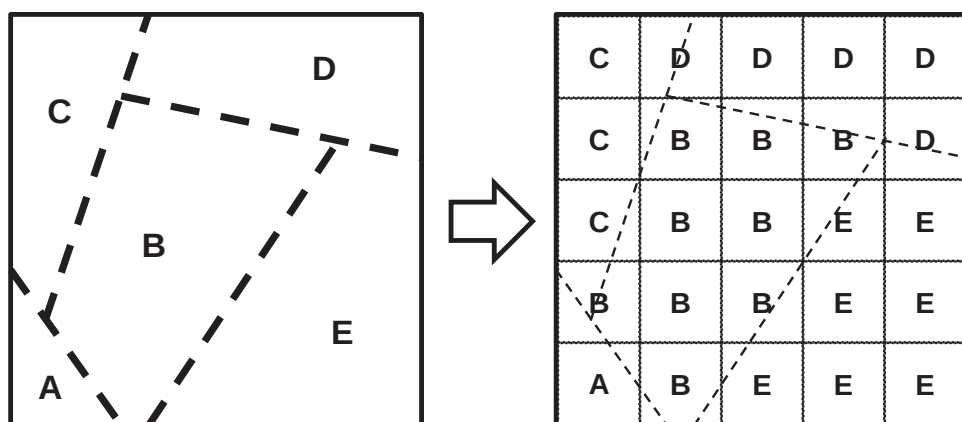
Pic. 3. Vector data models: a) initial polygons; b) non-topological model; c) topological model (author's drawing is based on the work [15]).

The vector spatial data model is characterized by maximum flexibility (since it does not contain restrictions on the shape of objects, their size and location), which simultaneously leads to the need to fully specify all positional data for each object. The vector model can be presented in two forms: non-topological, and topological. The non-topological variation (the «spaghetti» model) implies an independent indication of the boundaries for each object; this leads to the fact that data on the boundaries of neighbouring objects is duplicated and, as a result, the total amount of used data increases. In addition, when changing the boundaries of an object, it is necessary to identify and synchronously change the boundaries of all objects adjacent to it. The topological version of the model includes a set of individual polylines (arcs) that are the boundaries of objects, as well as information on belonging of these arcs to specific spatial objects. In this case, there is no duplication of information, and when editing the boundary of adjacent objects, the changes will be automatically reflected for both of them. An example of two varieties of the vector model is shown in Pic. 3, which shows two

polygons P1 and P2 having an adjacent boundary L3.

The non-topological model contains merely instructions about the coordinates of the boundary points of each polygon (three points for P1 and five points for P2; the starting point is indicated a second time at the end of the list, as a sign that the boundary polyline is closed). The topological model first describes three arcs L1, L2 and L3, after which it indicates which arcs each of the polygons consists of. The topological model, in comparison with the non-topological one, is more complex, and for this reason it is used less often, mainly at the stage of forming spatial objects (entering their boundaries). At the stage of analysis and modelling, higher performance is provided by a non-topological model. Building of more complex objects based on elementary spatial elements is carried out within the framework of a certain model of spatial data. One of the simplest, and, at the same time, one of the most frequently used, is grid-type model, an example of which is shown in Pic. 4.

When using a grid model, the territory is divided into identical sections (cells), each of



Pic. 4. Raster grid data model (author's drawing is based on the work [15]).

which is an independent spatial object. The cell size determines the spatial resolution of the model. Attribute data for each object is defined independently of each other. Pic. 4 shows definition of one of five possible attribute values. A convenient feature of this type of model is that the spatial position of a cell is determined only by its number, which eliminates the need to specify the full positional data of each cell (coordinates of all corner-points). This enables compact storage of information. For example, in Pic. 4 objects can be described as a sequence of 25 attribute values (from A to E each). In this case, if necessary, the coordinates of all corner-points of each object can be easily restored by its number. Due to the presence of contiguous cells with the same attribute value, an even more compact description becomes possible, e.g., C4DC3BDC2B2E3B2EAB3E (where, 4D is used instead of DDDD, saving 2 characters). In grid models, it is possible to use cells of any regular shape, including curvilinear. It is also allowed to use different resolutions and different cell shapes for different attributes. In the case of rectangular cells, the only attribute of which is their colour, the model turns into a raster one. For example, to construct the optimal travel route in terms of travel time along a certain transport network, it is required to predict speed of vehicles within the segments. In this case, the forecasting horizon should be no less than the typical time of a single trip, so that when building a route before leaving, one can consider speed of movement at segments of the transport network close to the purpose of the trip.

Conclusion.

Besides using algorithms described above, for the purpose of transport modelling it is necessary to solve a series of problems referred to collection and processing of initial data.

To achieve maximum digitization performance, it is necessary to consider errors associated with interpretation of the results of data analysis, e.g., of analysis of readings of vehicle registration plates (number plates). Obviously, the forecast depends on time, day of the week and season of travel. External factors include weather conditions. In addition, there are nontrivial regularities between speeds of movement on different edges of the road network graph [16; 17]. For example, a very low speed in a certain area (traffic jam, congestion) can cause a decrease in speed on some ribs (congestion spreading) and at the same time an increase in speed on other edges due to the fact that the number of vehicles entering them sharply decreases (a sort of «shielding» effect). The number of posts for data collection and survey to create a transport model is assigned based on capacity of an observer or video camera to record the maximum possible number of events for monitoring traffic and pedestrian flows. But there are several shortcomings in relation to the observers and counting devices, such as recording heterogeneous information (simultaneous recording of the number of incoming and outgoing flows of vehicles or pedestrians [bi-directional counting]). Regarding the use of video recording as a tool of monitoring the centres of gravity, it is



worth noting some disadvantages associated with videorecording in the dark, manual video data processing (data digitization), difficulty to assess the number of passengers in private cars in case the vehicles' windows are even lightly tinted. The listed problems entail a sharp decrease in quality of collected and analysed data for further transport modelling.

Those problems can be solved thanks to improvement of methods and technical tools to collect initial data, but also through development of new information technology of their processing, particularly involving neural networks.

REFERENCES

1. GOST R [State Standard] 56670-2015 Intelligent transport systems. Subsystem for monitoring the parameters of traffic flows based on the analysis of telematic data of urban passenger transport [GOST R 56670-2015 *Intellektualnie transportnie sistemy. Podsystema monitoring parametrov transportnykh potokov na osnove analiza telematicheskikh dannykh gorodskogo passazhirskogo transporta*]. [Electronic resource]: <http://docs.cntd.ru/document/1200125977>. Last accessed 20.07.2020.
2. Vaksman, S. A. Information technologies in management of urban public passenger transport (tasks, experience, problems) [*Informatsionnie tekhnologii v upravlenii gorodskim obshchestvennym passazhirskim transportom (zadachi, opyt, problemy)*]. Ed. by S. A. Vaksman. Yekaterinburg, Publishing house of AMB, 2012, 250 p. [Electronic resource]: <http://www.vaksman.ru/Russian/Criticism/Vaksman/Begin.pdf>. Last accessed 20.07.2020.
3. Kuftinova, N. G. Modelling the dynamics of traffic flows using cluster analysis [*Modelirovanie dinamiki avtotransportnykh potokov s pomoshchyu klaster'nogo analiza*]. *Collection of scientific works of IV international scientific and practical conference «Transport planning and modelling»*, St. Petersburg, 2019, pp. 106–108. [Electronic resource]: <https://interactive-plus.ru/e-articles/545/Action545-470172.pdf>. Last accessed 20.07.2020.
4. Kuftinova, N. G. Mathematical modelling of traffic flows on the basis of macro- and micro-approaches of the urban transport system [*Matematicheskoe modelirovanie transportnykh potokov na osnove makro- i mikro-podkhodov transportnoi sistemy*]. *Collection of scientific works of III international scientific and practical conference «Transport planning and modelling. The digital future of transport management»*. Ed. by D.Sc. (Eng), Professor S. V. Zhankaziev. Moscow, MADI publ., 2018, pp. 67–76. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37057419>. Last accessed 20.07.2020.
5. Kuftinova, N. G. Intelligent transport infrastructure of a megalopolis based on geoanalysis and geo-modelling of motor transport systems [*Intellektualnaya transportnaya infrastruktura megapolisa na osnove geoanaliza i geometirovaniya avtotransportnykh sistem*]. *Logistic audit of transport and supply chains: Materials of an international scientific and practical conference*, Tyumen, TIU publ., 2018, pp. 76–82. [Electronic resource]: <https://docplayer.ru/45169767-Udk-informacionno-logicheskaya-model-transportnoy-seti-megapolisa-kuftinova-n-g.html>. Last accessed 20.07.2020.
6. Kuftinova, N. G. General characteristics of transport models for assessing the road network in urban areas [*Obshchaya kharakteristika transportnykh modelei dlya otsenki dorozhnoi seti na gorodskikh territoriyakh*]. *Collection of scientific papers of III international scientific conference «Scientific Discoveries»*, Karlovy Vary–Moscow, Moscow, 2018, pp. 47–60. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34934683>. Last accessed 20.07.2020.
7. Marcus, G., Davis, E. Eight (No, Nine!) Problems with Big Data. [Electronic resource]: https://www.nytimes.com/2014/04/07/opinion/eight-no-nine-problems-with-big-data.html?_r=0. Last accessed 20.07.2020.
8. Chenyang Xu; Changqing Xu; Trieu-Kien Truong. Mining the spatio-temporal pattern using matrix factorisation: A case study of traffic flow. *IET Intelligent Transport Systems*, 2020, Vol. 14, Iss. 10, pp. 1328–1337. DOI: <http://dx.doi.org/10.1049/iet-its.2019.0705>. Last accessed 23.10.2020.
9. Alam, O., Kush, A., Emami, A., Pouladzadeh, P. Predicting irregularities in arrival times for transit buses with recurrent neural networks using GPS coordinates and weather data. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12652-020-02507-9>. Last accessed 23.10.2020.
10. Guerreiro, G., Figueiras, P., Silva, R., Costa, R., Jardim-Goncalves, R. An architecture for big data processing on intelligent transportation systems. An application scenario on highway traffic flows. *2016 IEEE 8th International Conference on Intelligent Systems (IS)*, 2016, pp. 65–72. DOI: 10.1109/IS.2016.7737393. Last accessed 20.07.2020.
11. Kohan, M., Ale, J. M. Discovering Traffic Congestion through Traffic Flow Patterns Generated by Moving Object Trajectories. *Computers, Environment and Urban Systems*, March 2020, Vol. 80, Article 101426. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2019.101426. Last accessed 20.07.2020.
12. Kumar, B. A., Vanajakshi, L., Subramanian, S. C. A Hybrid Model Based Method for Bus Travel Time Estimation. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 2018, Vol. 22, Iss. 5, pp. 390–406. DOI: 10.1080/15472450.2017.1378102. Last accessed 20.07.2020.
13. Taamneh, M., Alkheder, S., Taamneh, S. Data-Mining Techniques for Traffic Accident Modeling and Prediction in the United Arab Emirates. *Journal of Transportation Safety & Security*, 2017, Vol. 9, Iss. 2, pp. 146–166. DOI: <https://doi.org/10.1080/19439962.2016.1152338>. Last accessed 20.07.2020.
14. Norris, D. RapidMiner – a potential game changer. November 15, 2013. [Electronic resource]: <https://www.bloorresearch.com/2013/11/rapidminer-a-potential-game-changer/>. Last accessed 17.07.2020.
15. Yakubovich, A. N., Kuftinova, N. G., Rogova, O. B. Information technologies on vehicles: Study guide [*Informatsionnie tekhnologii na avtotransporte: Ucheb. posobie*]. Moscow, MADI, 2017, 252 p. [Electronic resource]: <http://www.lib.madi.ru/fel/fel1/fel17E429.pdf>. Last accessed 17.07.2020.
16. Mousa, S. R., Mousa, R. M., Ishak, S., Radwand, L. Modeling Speed-Density Relation for Highways in Developing Countries with No Lane Discipline: A Case Study in Egypt. *2017 ASCE India Conference*, 2018, pp. 725–735. DOI: 10.1061/9780784482025.074. Last accessed 17.07.2020.
17. Kong, X., Das, S., Jha, K., Zhang, Y. Understanding Speeding Behavior From Naturalistic Driving Data: Applying Classification Based Association Rule Mining. *Accident Analysis and Prevention*, September 2020, Vol. 144. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105620>. Last accessed 23.10.2020.



ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ 42

Методология и результаты проверки взаимодействия подвижного состава и рельсовых цепей.

ЛОКОМОТИВЫ 62

Оценка технического состояния электровозов переменного тока по расходу электроэнергии.

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ ПЕРЕЕЗДЫ 90

Внедрение цифровизации и технические решения. Автомобильный лифт через переезд.



НАУКА И ТЕХНИКА • SCIENCE AND ENGINEERING



ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY 52

Methods and results of testing of interaction of rolling stock and track circuits.



LOCOMOTIVES 76

Assessment of technical state of AC locomotives using electricity consumption rates.

LEVEL CROSSING 100

Introduction of digital technology and engineering solutions. Car lifts to move over a railway crossing.



Оценка электромагнитного воздействия тягового подвижного состава на рельсовые цепи



Димитров Румен – ООО «ТИНСА», София, Болгария.*

Румен ДИМИТРОВ

Действующие на железнодорожном транспорте Болгарии правила требуют, чтобы каждый новый тип локомотива для получения доступа к железнодорожной инфраструктуре прошёл процедуру проверки электромагнитного воздействия на функционирование рельсовых цепей.

Соответствующая проверка производилась для семи типов рельсовых цепей переменного и постоянного тока и шести типов вновь вводимых в эксплуатацию локомотивов – пяти электровозов и одного тепловоза.

Приведена принципиальная схема испытаний, во время которых регистрировались форма, частота и уровень напряжения на клеммах путевого приёмника (на катушке путевого реле) при свободной (нормальный режим) и занятой (шунтовой режим) рельсовой цепи во время воздействия обратного тягового тока электровозов, а также во время воздействий, вызванных функционированием электрического оборудования в кузове и под рамой тепловоза.

Для электровозов испытания проводились во время шунтирования рельсовых цепей (проверяемой и соседней с ней), трогания с места, при снятии и поднятии пантографа. Для тепловоза

испытания проводились в стационарном режиме, когда внутренние колёсные пары шунтировали изолирующие стыки двух соседних рельсовых цепей, для разных случаев расположения аппаратуры релейного и приёмного концов. Во время испытаний следили за состоянием якоря и контактов путевых реле. Амплитуда регистрируемых помех сравнивалась с напряжением надёжного выключения и включения путевых реле/путевых приёмников. Установлено, что во время шунтового режима регистрируемые остаточные напряжения на путевом приёмнике во время воздействия электровоза были в 50 и более раз ниже напряжения надёжного включения и в 33 и более раз ниже напряжения надёжного выключения приёмника. Для тепловоза результаты оказались аналогичными, за исключением случая коротких рельсовых цепей постоянного тока, когда амплитуда помех была выше, но без опасного воздействия на шунтовой режим.

В результате испытаний установлено, что все типы рельсовых цепей, применяемые на железных дорогах Болгарии, устойчивы к электромагнитным помехам, исходящим от испытанных представителей тягового подвижного состава.

Ключевые слова: железная дорога, тяговый подвижной состав, рельсовые цепи, электромагнитное воздействие.

*Информация об авторе:

Димитров Румен – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, эксперт ООО «ТИНСА», София, Болгария, rudimitrov@mail.bg.

Статья поступила в редакцию 06.10.2020, принята к публикации 09.11.2020.

For the English text of the article please see p. 52.

1. ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с действующими на железнодорожном транспорте Болгарии правилами, каждый новый тип локомотива, который является собственностью местного или иностранного перевозчика, чтобы получить доступ к железнодорожной инфраструктуре, должен пройти процедуру проверки на соответствие требованиям национальных технических правил и национальных правил безопасности¹. Одна из таких проверок связана с оценкой электромагнитного воздействия тягового подвижного состава на функционирование рельсовых цепей для выяснения их электромагнитной совместимости. Необходимость такой проверки обусловлена двумя причинами:

- с одной стороны, в настоящее время вводятся в эксплуатацию всё более мощные локомотивы с применением в них современных электронных устройств (выпрямителей, конверторов и др.), которые генерируют электромагнитные излучения и помехи, не имевшие место на момент разработки и внедрения соответствующих типов рельсовых цепей, поскольку такого подвижного состава тогда не существовало;
- с другой стороны, рельсовые цепи, эксплуатируемые в Болгарии, не применяются в большинстве стран Европейского союза.

Оценку электромагнитной совместимости рельсовых цепей с современным подвижным составом можно решать двумя способами:

- проверкой электромагнитного воздействия в натурных условиях с тем, чтобы выявить насколько возможны и реальны опасные последствия таких воздействий, например, включение путевого приёмника рельсовой цепи в шунтовом режиме;
- проверкой эмиссий (излучений) вновь выпускаемого подвижного состава в частотном диапазоне, уже занятом для функционирования рельсовых цепей.

Предметом исследования в настоящей статье являются вопросы методологии и результаты проверки по первому способу

¹ Национален референтен документ на Република България. Изпълнителна агенция «Железопътна администрация», София, 2016.

оценки электромагнитной совместимости подвижного состава с рельсовыми цепями, применяемыми в железнодорожной инфраструктуре Болгарии, а именно:

- рельсовыми цепями постоянного тока при электротяге переменного тока 50 Гц, производства бывшей ГДР;
- рельсовыми цепями советской разработки и производства, в числе которых:
 - импульсные рельсовые цепи 75 Гц;
 - кодовые рельсовые цепи 75 Гц;
 - импульсные рельсовые цепи 25 Гц;
 - фазочувствительные рельсовые цепи 25 Гц;
 - рельсовые цепи в частотном диапазоне 71–83 Гц с гетеродинным контролем короткого замыкания изолирующих стыков;
- короткими электронными рельсовыми цепями типа КЕРВ на 30 кГц болгарской разработки и производства.

В связи с проводимой в настоящее время модернизацией железнодорожной инфраструктуры, некоторые типы рельсовых цепей уже не применяются, однако на момент проверок, о которых пойдёт речь ниже, они ещё были в эксплуатации. Тем не менее автор счёл целесообразным привести полученные для них результаты, поскольку они применяются в других странах, в том числе на российских железных дорогах, и могут представлять интерес для читателей журнала.

2. МЕТОДИКА ПРОВЕРОК

Известно, что рельсовые цепи (РЦ) функционируют в четырёх режимах: нормальном, шунтовом, контрольном и автоматической локомотивной сигнализации. Ввиду разных обстоятельств, последний режим не нашёл применения на железных дорогах Болгарии, поэтому проверка воздействия тягового подвижного состава на рельсовые цепи осуществлялась в нормальном и шунтовом режимах. Контрольный режим, ввиду сложности его осуществления, не рассматривался.

Практика показывает, что основными источниками электромагнитных помех, которые могут повлиять на режимы работы рельсовых цепей, являются протекающий в рельсах обратный тяговый ток с его гармоническими составляющими, а также эмиссии от электрических агрегатов и приборов, смонтированных в кузове и под



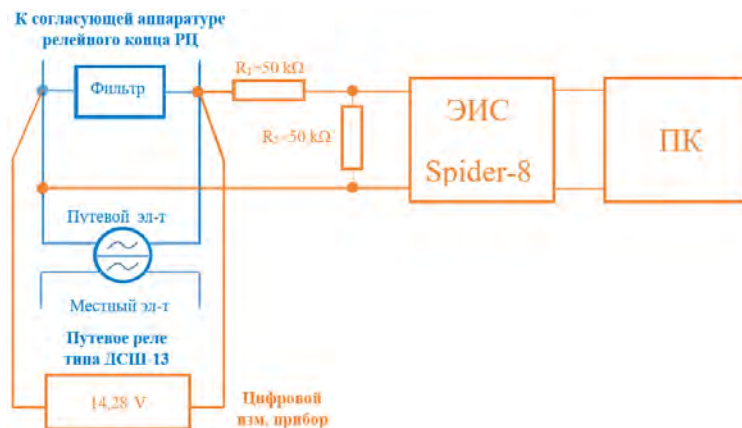


Рис. 1. R_1 , R_2 – резисторы делителя напряжения; ЭИС – электронная измерительная система Spider-8; ПК – персональный компьютер [2].

рамой тягового и нетягового подвижного состава (пассажирских вагонов).

Проверка электромагнитного воздействия (электромагнитной совместимости) на рельсовые цепи производилась во время натурных испытаний с регистрацией формы, частоты и уровня напряжения на клеммах путевого приёмника (на катушке путевого реле) при свободной (нормальный режим) и занятой (шунтовой режим) рельсовой цепи во время воздействия обратного тягового тока электрического подвижного состава, а также во время воздействий, вызванных функционированием электрического оборудования в кузове и под рамой тягового подвижного состава с автономной тягой.

Все испытания проводились для референтных рельсовых цепей, соответствующих типам рельсовых цепей на перегонах и станциях с применением схемы (рис. 1), которая для определённости здесь отнесена к фазочувствительной рельсовой цепи.

Для остальных типов рельсовых цепей отличие схемы связано с типом путевого реле, а в случае рельсовых цепей постоянного тока – с отсутствием фильтра.

Во время испытаний всё электрическое оборудование в кузове и под рамой локомотива (трансформаторы, конверторы, выпрямители, тяговые и нетяговые двигатели, освещение, климатическая установка (если имелась), аппаратура автоматической локомотивной сигнализации (для импортных локомотивов) и радиосвязи) было включено, причём, когда это было возможно, на предельных режимах. Испытания производились во время кратковременного нахождения локомотивов в стране с це-

лью получения разрешения на предполагаемые поставки. По каждому типу испытаний проводились двухкратные опыты, что связано с ограниченным временем на их проведение в условиях разрешённых окон в движении поездов.

а. Дополнительные условия испытаний электровазов при электротяге переменного тока 50 Гц, 25 кВ.

Испытания электровазов производились с соблюдением следующих дополнительных условий:

- при приближении поезда/локомотива к незанятой рельсовой цепи (нормальный режим), а также при её занятии (шунтовой режим) необходимо, чтобы обратный тяговый ток протекал через приёмный, в частном случае – релейный, конец РЦ (рис. 2), когда этот конец находится на её выходе [1];
- на соответствующем тяговом плече, не должно было быть другого тягового подвижного состава, кроме испытуемого.

Во время испытаний электроваза регистрировалась форма, частота и уровень напряжения на клеммах путевого приёмника (на катушке путевого реле) при движении локомотива к незанятой РЦ, на время её занятия, а также при трогании с места с максимально возможным тяговым усилием. Обратный тяговый ток (с соблюдением условий безопасности) измерялся токоизмерительными клещами Дитце в местах подсоединения дроссель-трансформаторов (ДТ) к рельсам.

б. Дополнительные условия испытаний тепловозов.

В случае тепловозной тяги с электрической передачей соблюдалось следующее дополнительное, самое тяжёлое, с эксплуа-

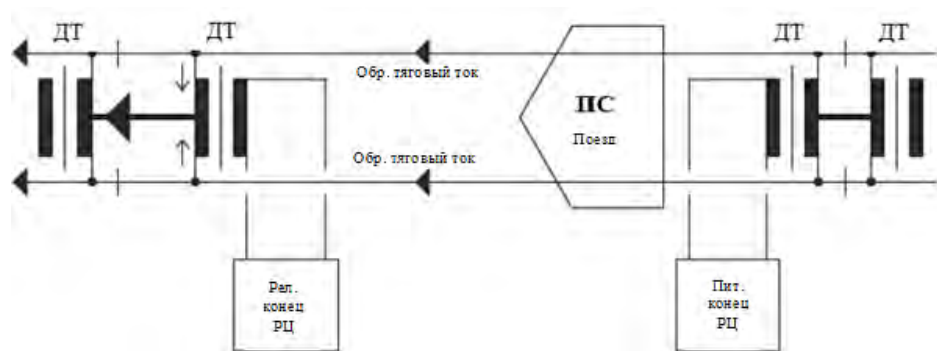


Рис. 2. Условия испытания электровозов [1].

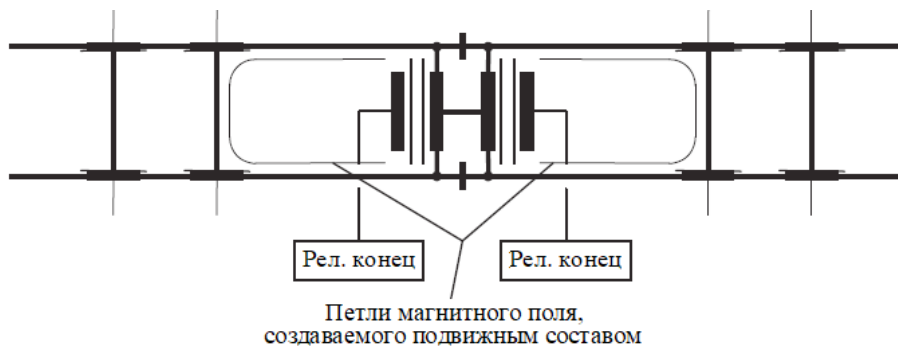


Рис. 3. Условия испытания тепловозов [1].

тационной точки зрения, правило: в шунтовом режиме испытываемой рельсовой цепи тепловоз должен находиться стационарно на пути таким образом, чтобы точки присоединения к рельсам аппаратуры приёмного (релейного) конца рельсовой цепи были расположены между точками контакта внутренних колёсных пар с рельсами [1].

При этом испытания проводились для разных случаев расположения аппаратуры двух соседних рельсовых цепей (два приёмных конца, а также питающий и релейный конец для вариантов с и без дроссель-трансформаторов).

Во время испытаний тепловоза также регистрировались форма, частота и уровень напряжения на клеммах путевого приёмника (на катушке путевого реле) в стационарных условиях, на время движения и трогания с места с максимально возможным тяговым усилием. Когда испытания проводились на электрифицированном участке, необходимо было убедиться, что в этот момент обратный тяговый ток в рельсах, измеряемый токовыми клещами Дитце, был равен или близок к нулю.

3. ОБЪЕКТЫ ИСПЫТАНИЙ

В проверке электромагнитного воздействия тягового подвижного состава на рельсовые цепи в разное время участвовали шесть электровозов, работающих на переменном токе 50 Гц напряжением 25 кВ, и один тепловоз.

Испытаниям подверглись следующие локомотивы:

1) Электровоз мощностью 6400 кВт (максимальный обратный тяговый ток около 255 А). Во время испытаний к нему был прицеплен грузовой состав массой 1100 т;

2) Электровоз мощностью 6000 кВт (максимальный обратный тяговый ток около 240 А). Во время испытаний к нему был прицеплен вспомогательный электровоз, который с целью обеспечения нагрузки работал в режиме реостатного торможения;

3) Электровоз мощностью 5600 кВт (максимальный обратный тяговый ток около 225 А). Во время испытаний к нему был прицеплен грузовой состав массой 1000 т;



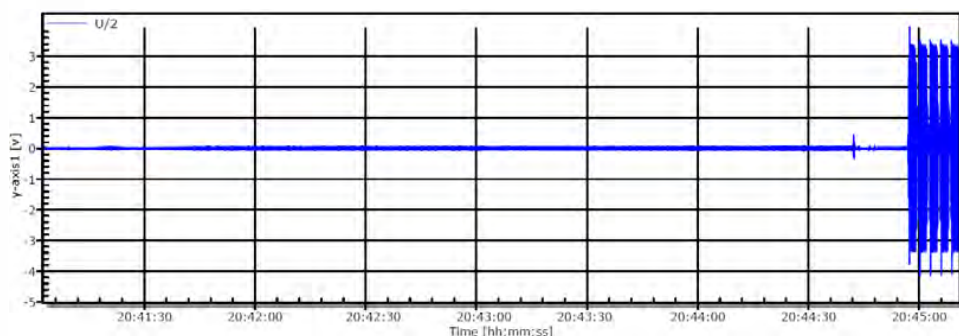


Рис. 4. Импульсная рельсовая цепь 25 Гц (шунтовой режим и трогание с места) [2].

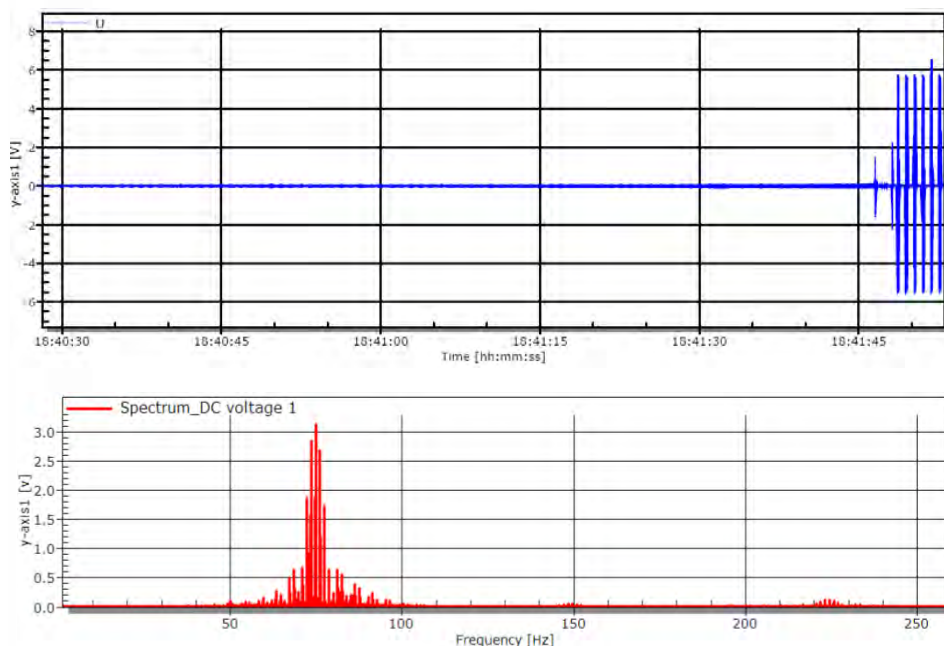


Рис. 5. Кодовая рельсовая цепь 75 Гц (шунтовой режим и трогание с места).
Частотный спектр сигнала на клеммах импульсного путевого реле [2].

4) Электровоз мощностью 5600 кВт (максимальный обратный тяговый ток около 225 А). Во время испытаний к нему был прицеплен вспомогательный электровоз, который с целью обеспечения нагрузки работал в режиме реостатного торможения;

5) Электровоз мощностью 5500 кВт (максимальный обратный тяговый ток около 220 А). Во время испытаний к нему был прицеплен вспомогательный электровоз, который с целью обеспечения нагрузки работал в режиме реостатного торможения;

6) Электровоз мощностью 4250 кВт (максимальный обратный тяговый ток около 175 А). Во время испытаний к нему

был прицеплен вспомогательный электровоз, который с целью обеспечения нагрузки работал в режиме реостатного торможения;

7) Тепловоз мощностью 1600 кВт.

Во всех случаях в конце состава находился электровоз, который уже имел право доступа к железнодорожной инфраструктуре. Он осуществлял передвижения поезда/испытываемого локомотива к объектам испытаний, а также вспомогательные передвижения в процессе испытаний. Во время некоторых испытаний в режиме реостатного торможения он являлся нагрузкой/товаром для испытываемого локомотива. На время испытаний этот локомотив не был подсоединён к контактной сети.

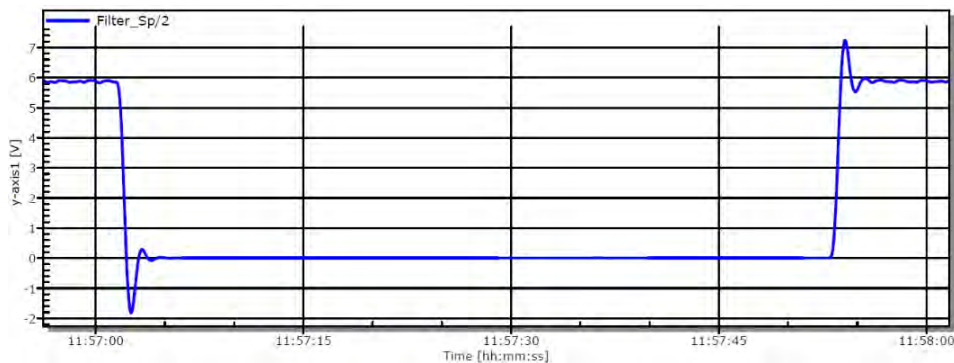


Рис. 6. Рельсовая цепь в диапазоне 71–83 Гц с гетеродинным контролем короткого замыкания изолирующих стыков (переход от нормального к шунтовому режиму, шунтовой режим и переход к нормальному режиму) [2].

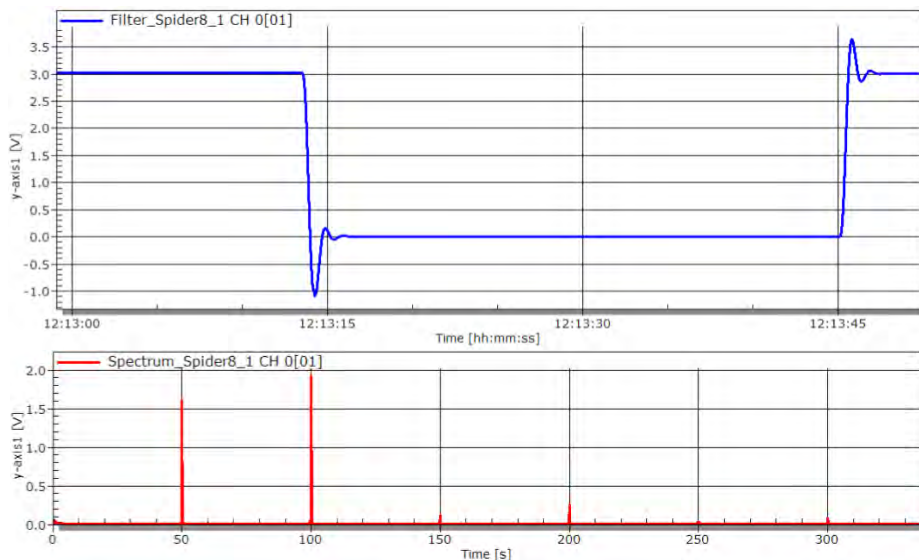


Рис. 7. Рельсовая цепь постоянного тока (переход от нормального к шунтовому режиму, шунтовой режим и переход к нормальному режиму). Частотный спектр сигнала на клеммах путевого реле при трогании с места [2].

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРОК/ИСПЫТАНИЙ

Испытания электровозов и тепловоза выявили наличие следующих эффектов:

4.1. Эффект № 1: Шунтирование рельсовых цепей и трогание локомотива с места

4.1.1. Испытания электровозов

На рис. 4–7 показаны фрагменты осциллограмм, демонстрирующие эффект шунтирования референтных типов рельсовых цепей во время испытаний при воздействии указанных локомотивов. Ввиду схожести полученных результатов, количество осциллограмм намеренно ограничено.

Из приведённых осциллограмм видно, что во время испытаний в нормальном,

а также в шунтовом режиме не обнаружены помехи, которые могли бы привести к нештатному функционированию всех референтных типов рельсовых цепей. При этом:

1. В случае движения тягового средства к незанятой рельсовой цепи не наблюдались изменения в форме и амплитуде сигнального тока. В частотном спектре рельсовых цепей переменного тока присутствовала исключительно частота сигнального тока (рис. 5). В случае рельсовой цепи постоянного тока, кроме частоты тягового тока (50 Гц), во время трогания с места наблюдалась и сильная вторая гармоника (рис. 7), которые вместе не оказывали влияния на функционирование рельсовой цепи.



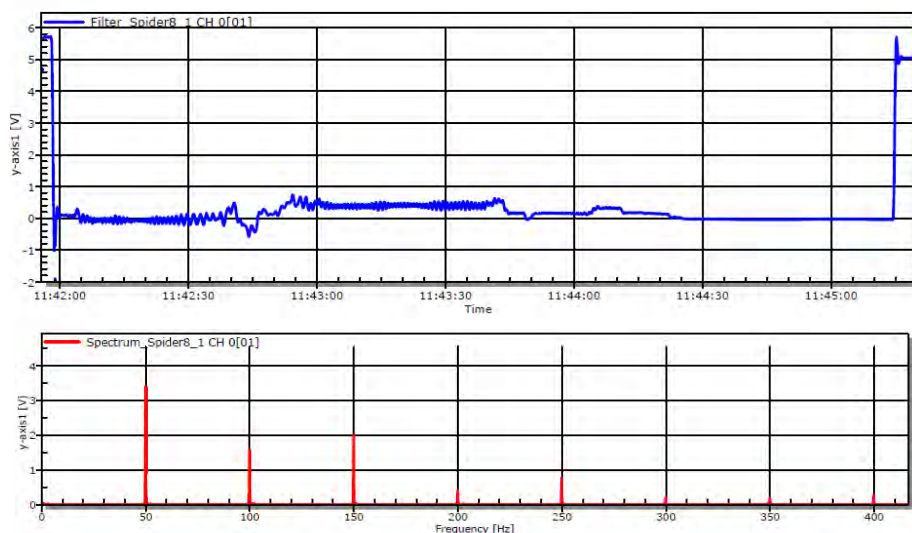


Рис. 8. Рельсовая цепь постоянного тока (переход от нормального к шунтовому режиму, шунтовой режим, трогание с места и переход к нормальному режиму). Частотный спектр сигнала на клеммах путевого реле [2].

2. При шунтировании питающего конца рельсовой цепи, когда движение осуществлялось к приёмному концу, путевой приёмник (путевое реле) стабильно переходил от состояния «под током» в состояние «без тока», а при освобождении рельсовой цепи — от состояния «без тока» в состояние «под током».

3. В шунтовом режиме регистрируемые остаточные напряжения на путевом приёмнике были в 50 и более раз ниже напряжения надёжного включения и в 33 и более раз ниже напряжения надёжного выключения приёмника.

4. При занятой локомотивами:

- импульсной рельсовой цепи подвижный контакт импульсного путевого реле стабильно упирался в неподвижный контакт без перемещений или дребезга;
- рельсовой цепи с нейтральным путевым реле или с нейтральным повторителем импульсного путевого реле якорь был стабильно отпавшим. Перед занятием рельсовой цепи, как и после её освобождения, якорь был стабильно притянут. В обоих состояниях не наблюдались попытки перемещений или дребезга;
- фазочувствительной рельсовой цепи сектор путевого реле стабильно упирался в нижний ограничивающий ролик без перемещений и/или вибрирования. Перед занятием рельсовой цепи, как и после её освобождения, сектор реле стабильно и не-

подвижно упирался в верхний ограничивающий ролик.

4.1.2. Испытания тепловоза

Во время стационарных испытаний тепловоза в условиях, изображённых на рис. 3, нештатного включения выключенного путевого приёмника/путевого реле не наблюдалось.

В условиях нормального, а также шунтового режима, включая трогание с места, не обнаружено случаев нештатного функционирования референтных типов рельсовых цепей. Результаты аналогичны случаям испытаний электровозов (рис. 4–7). Однако, в случае коротких рельсовых цепей постоянного тока во время торможения и трогания с места тепловоза были обнаружены помехи с амплитудой около 0,7 В (рис. 8). При этом в частотном спектре с наибольшей амплитудой присутствовал сигнал 50 Гц, что необычно для гармонических составляющих выпрямленного питающего напряжения рельсовых цепей постоянного тока. Поэтому следует считать, что источником помех 50 Гц и кратных 50 Гц являлся проверяемый локомотив, что можно объяснить электромагнитными эмиссиями из-за переключений отдельных агрегатов. Подтверждение этому состоит в том, что помехи имеют изменяющуюся амплитуду, что ассоциируется с переходными процессами. Если принять, что источником этих помех действительно явля-

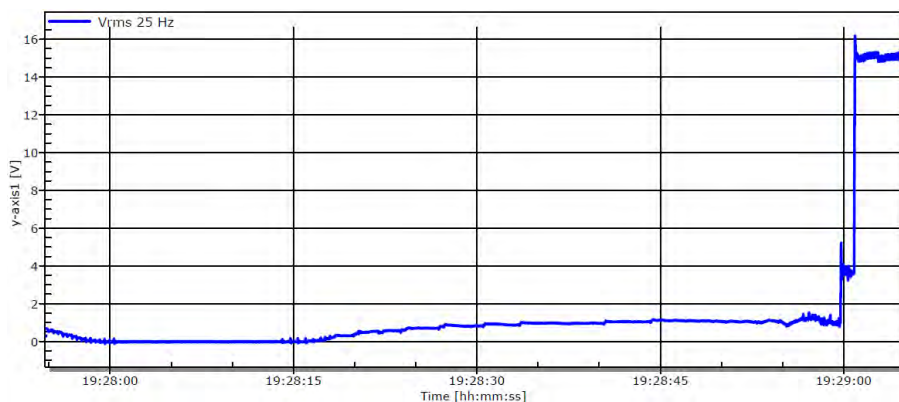


Рис. 9. Фазочувствительная рельсовая цепь с реле типа ДСШ-13 (трогание с места и переход от шунтового к нормальному режиму) [2].

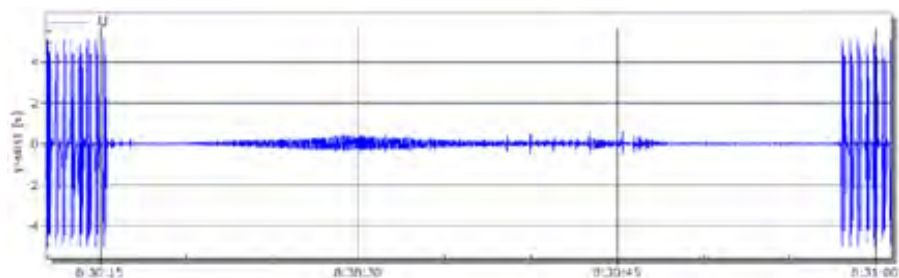


Рис. 10. Импульсная рельсовая цепь 75 Гц [2].

ется тепловоз, что нельзя было доказать абсолютно, то эксперимент показал однозначно, что они не оказывают опасного влияния на шунтовой режим рельсовой цепи постоянного тока.

В случае фазочувствительных рельсовых цепей при трогании тепловоза с места и переходе от шунтового к нормальному режиму наблюдались помехи с амплитудой около 1,5 В, которые не оказывали воздействия на состояние находящегося в стабильном нижнем положении сектора реле ДСШ-13 (рис. 9).

4.2. Эффект № 2: Генерирование помех при снятии и поднятии пантографа электровазов во время прохождения т.н. «нейтральных вставок»

На рис. 10 показана осциллограмма напряжения путевого приёмника (импульсного путевого реле типа ИМВШ-110 после фильтра ФП-75) импульсной рельсовой цепи 75 Гц в шунтовом режиме во время испытания указанного выше локомотива № 1.

Видно, что амплитуды напряжения положительной и отрицательной полувольт достигают около 0,5 В, что более чем

в шесть раз ниже напряжения надёжного притяжения якоря реле (3,2 В) и около четырёх раз ниже напряжения надёжного отпадания якоря реле (2 В). Кроме того, помехи имеют аperiодический характер, что не создаёт предпосылок для ложного срабатывания реле.

Подобные результаты во время воздействия на референтные типы рельсовых цепей получены и для остальных указанных электровазов. Таким образом установлено, что во время шунтового режима рельсовых цепей генерируемые помехи при снятии и поднятии пантографа электровазов не вызывают нештатного включения путевого реле.

4.3. Эффект № 3: Шунтирование изолирующих стыков двух соседних рельсовых цепей при передвижении локомотива/поезда с одной рельсовой цепи на другую

В данном случае, при передвижении подвижного состава от одной импульсной рельсовой цепи к соседней, наблюдался эффект, который состоит в том, что в шунтовом режиме остаточное напряжение на путевом приёмнике имеет значение отличное от нуля. При этом обнаруживаются



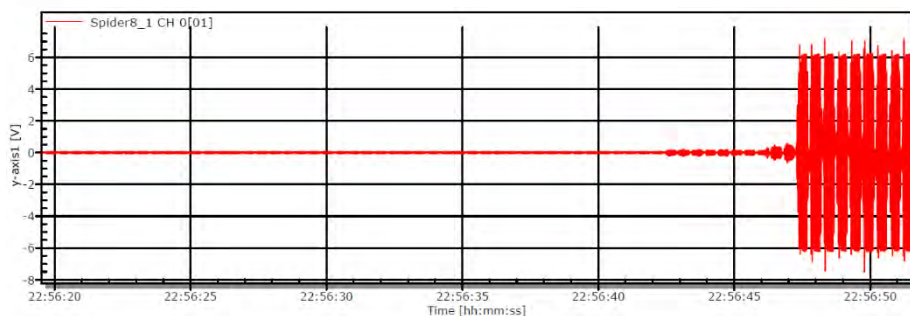


Рис. 11. Импульсная рельсовая цепь 25 Гц (воздействие электровоза) [2].

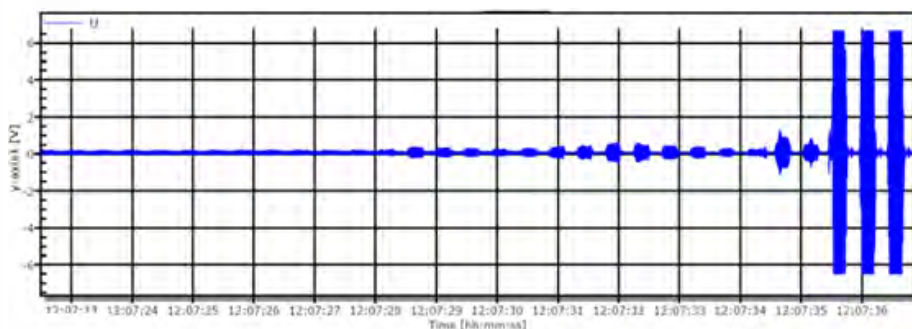


Рис. 12. Импульсная рельсовая цепь 75 Гц (воздействие тепловоза) [2].

хорошо различимые импульсы, хотя и с очень низкой амплитудой (рис. 10–12). Источником этого напряжения не могут быть испытуемые локомотивы, потому что этот эффект имеет место как в случае состава из двух электровозов – испытуемого и вспомогательного (рис. 11), так и в случае тепловоза с прицепленным к нему электровозом со спущенным пантографом (рис. 12).

Осциллограмма (рис. 10), на которой этот эффект тоже зафиксирован, отличается тем, что за испытуемым локомотивом находились грузовые вагоны, во время прохождения которых через изолирующие стыки обнаруженный эффект не имел места (участок осциллограммы окончания шунтового режима). При этом видно, что импульсная последовательность имеет ту же частоту и длительность импульсов, как у питающего напряжения соответствующих рельсовых цепей.

Наблюдаемый эффект можно объяснить следующим образом. С одной стороны, колёсные пары локомотивов шунтируют рельсовую линию с двух сторон изолирующих стыков, что приводит к шунтовому эффекту для каждой из рельсовых цепей. С другой стороны, каждый изоли-

рующий стык шунтируется импедансом (полным сопротивлением) тягового подвижного состава и активным сопротивлением металлической конструкции подвижного состава (тягового и нетягового).

Для выявления указанного эффекта необходимо, чтобы две соседние рельсовые цепи имели разноимённые концы (приёмный конец одной и питающий другой). В этом случае питание сигнальным током с одной рельсовой цепи переходит к приёмному концу другой. В результате установлено, как указано выше, что в шунтовом режиме остаточное напряжение на путевом приёмнике не равно нулю, при этом наблюдаются чётко различимые импульсы характерной частоты и формы с низкой амплитудой, которые в данных случаях можно считать помехами.

Из осциллограмм (рис. 11, 12) видно, что импульсные помехи имеют продолжительность около 5–7 с, что соизмеримо со временем, когда оба локомотива (испытуемый и вспомогательный) пересекают зону изолирующих стыков, т.е. помехи продолжают до момента, когда предыдущая по ходу движения рельсовая цепь будет освобождена ими. Случай, когда после обнару-

женных помех (рис. 10) в конце шунтового режима следует участок осциллограммы без помех, можно объяснить прохождением в это время грузовых вагонов состава, что наводит на мысль о том, что причина для этих помех связана с воздействием полного сопротивления локомотивов.

Из рис. 11, 12 также видно, что зарегистрированные помехи имеют амплитуду около 0,5 В, которая в десять раз ниже амплитуды сигнального тока, более чем в шесть раз ниже напряжения надёжного притяжения якоря реле (3,2 В) и около четырёх раз ниже напряжения надёжного отпадания якоря реле (2 В). Установлено категорически, что эти помехи не вызывают нештатного включения путевого реле во время шунтового режима рельсовых цепей.

Следует отметить, что указанный эффект имеет место исключительно в случае импульсных, включая кодовые, рельсовых цепей 75 и 25 Гц, что можно объяснить их принципом действия и высокой чувствительностью.

4.4. Эффект № 4: Воздействие обратного тягового тока на дроссель-трансформаторы

В своё время, когда начиналось внедрение релейных централизаций с рельсовыми цепями переменного тока, было решено, что для пропуска обратного тягового тока будут применяться дроссель-трансформаторы (ДТ) типа ДТ1-150, а позже — и ДТ0, 2-150, а также ДТ0, 6-150. Мощность электровозов, даже в случае кратной тяги, тогда не создавала проблем в этом плане.

В настоящее время, как видно из п. 3, ситуация изменилась. Электровозы мощностью более 3750 кВт при электротяге 25 кВ создают обратный тяговый ток более 150 А, из-за чего в случае использования их в кратной тяге имеются предпосылки для перегрева и даже перегорания тяговой обмотки ДТ, особенно на перегонах, где движение происходит по рельсовым цепям длиной порядка 2000 м.

Выход из этой ситуации состоит в следующем:

- либо запретить кратную тягу мощных электровозов на участках с рельсовыми цепями переменного тока, что вызывает возражения со стороны фирм-перевозчиков;

- либо переходить к применению счётчиков осей, что и происходит на вновь модернизируемых участках железной дороги, а также в релейных централизациях, чей остаточный ресурс ещё довольно большой (десять лет и более).

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Испытания указанных локомотивов показали, что, с точки зрения электромагнитной совместимости, ни один из них не может быть источником электромагнитных помех, которые создавали бы угрозу нештатной работе применяемых рельсовых цепей, а отсюда — угрозу безопасности движения поездов.

2. Несмотря на то, что перечисленная во введении статьи часть рельсовых цепей была разработана в середине прошлого столетия, а короткие электронные рельсовые цепи — в 1970—1980-х годах, все типы рельсовых цепей, применяемые на железных дорогах Болгарии, оказались очень устойчивыми к электромагнитным помехам, исходящим от испытанных представителей современного тягового подвижного состава. Это свидетельствует о том, что выбранные в своё время методы защиты от воздействия обратного тягового тока частотой 50 Гц, такие, как:

- частотный признак (частоты сигнального тока 75 Гц, 25 Гц, 0 Гц (в отдельных странах), 30 кГц, другие);
- импульсный признак, включая кодовый;
- фазовый признак,

продолжают быть актуальными и эффективными и в настоящее время.

3. При использовании на железных дорогах Болгарии электровозов, мощностью более 3750 кВт при электротяге 50 Гц, 25 кВ следует либо запретить для них кратную тягу на участках с рельсовыми цепями переменного тока, либо переходить к применению счётчиков осей.

ЛИТЕРАТУРА

1. EN50238-1:2003. Railway applications — Compatibility between rolling stock and train detection systems. — Part 1: General. [Электронный ресурс]: https://infostore.saiglobal.com/preview/is/en/2003/i.s.en50238-1-2003_%2Bac-2014.pdf?sku=1776720. Доступ 20.06.2020.

2. Протоколы испытаний электромагнитного воздействия тягового подвижного состава на рельсовые цепи, применяемые на железных дорогах Болгарии / Димитров Р., и коллектив. — ООО «ТИНСА». — София. — 2015—2020 г.





Evaluation of the Electromagnetic Effect of Traction Rolling Stock on Track Circuits



Dimitrov, Rumen, TINSА Ltd., Sofia, Bulgaria.*

Rumen DIMITROV

ABSTRACT

The regulations regarding railways currently in force in Bulgaria require that each new type of locomotive, to get access to railway infrastructure, must undergo a procedure for checking its electromagnetic effect on functioning of track circuits.

The relevant testing was carried out for seven types of AC and DC track circuits and for six types of locomotives intended to be put into operation (five electric locomotives and a diesel locomotive).

Schematic diagrams of testing conditions are presented. During the tests the voltage waveform, frequency, and level rates at the terminals of the track receiver (on the track relay coil) were recorded for a free (normal (common) mode) and occupied (shunt mode) track circuit during the action of return traction current of electric locomotives, as well as during the action of impacts caused by operation of electrical equipment located in the body and under the frame of the diesel locomotive.

For electric locomotives, the tests were carried out during the shunting of track circuits (of a tested one and of the track circuit adjacent to it), starting from the rest, lowering and raising pantographs. For

a diesel locomotive, tests were carried out in a stationary mode, when inner wheelsets shunted the insulating joints of two adjacent track circuits and for different cases of arrangement of the equipment of the relay and receiver ends. During the tests, the state of the armature and contacts of track relays was monitored. The amplitude of the recorded interference was compared with voltage of reliable switching off/on of track relays/track receivers. It was found that during the shunt mode, the recorded residual voltage in the track receiver under the action of the electric locomotive was 50 or more times lower than the reliable operate voltage and 33 or more times lower than the reliable drop-out voltage of the receiver. For a diesel locomotive, the results turned out to be similar, except for the case of shorter DC track circuits, where the amplitude of the interference was higher, but without a dangerous effect on the shunt mode.

Based on the results of the tests, it was established that all types of track circuits used on the railways of Bulgaria are resistant to electromagnetic interference emanating from tested samples of traction rolling stock.

Keywords: railway, traction rolling stock, track circuits, electromagnetic impact.

*Information about the author:

Dimitrov, Rumen – Ph.D. (Eng), Senior Researcher, Expert of TINSА Ltd., Sofia, Bulgaria, rudimitrov@mail.bg.

Article received 06.10.2020, accepted 12.11.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 42.

1. Background.

In accordance with the regulations regarding Bulgarian railways currently in force, each new type of locomotive, which is the property of a local or foreign carrier, to get access to the railway infrastructure, must undergo an assessment procedure for compliance with the requirements of national technical and safety regulations¹. One of these testing procedures is related to assessment of the electromagnetic effect of traction rolling stock on operation of track circuits to determine their electromagnetic compatibility. The need for such a testing is due to two reasons:

- on the one hand, more and more powerful locomotives are currently being put into operation and they use modern electronic devices (rectifiers, converters, etc.), which produce electromagnetic radiation and generate interference that did not exist at time of development and implementation of the corresponding types of track circuits since such rolling stock did not exist either.

- on the other hand, track circuits used in Bulgaria are not used in most of the European Union countries.

Assessment of electromagnetic compatibility of track circuits with modern rolling stock can be solved in two ways:

- full-scale testing of the electromagnetic effect to reveal probability of dangerous consequences of relevant impacts, for example, of turning on of the track receiver of the track circuit during the shunt mode.

- checking the emissions (radiation) of the newly produced rolling stock in the bandwidth already occupied for operation of track circuits.

The *subject* of the research described in the article refers to methodological issues and test results regarding the first method for assessing electromagnetic compatibility of rolling stock with track circuits, used within the railway infrastructure of Bulgaria, namely with:

- DC track circuits with 50 Hz AC electric traction, manufactured in the former GDR.

- Track circuits developed and produced in ex-Soviet Union, comprising:

- 75 Hz pulse track circuits;
- 75 Hz code track circuits;
- 25 Hz pulse track circuits;
- 25 Hz phase-sensitive track circuits;

- 71–83 Hz track circuits with heterodyne control of short circuit of insulating joints.

- Shorter electronic track circuits, type KERV, 30 kHz, of Bulgarian design and production.

Due to ongoing modernization of railway infrastructure, some types of track circuits are no longer in use, but at the time of testing, that will be discussed below, they were still in operation. Nevertheless, the author has considered it appropriate to cite the results obtained for them, since they are used in other countries, particularly Russian railways, and may be of interest to the readers of the journal.

2. Method of testing

It is known that track circuits (TC) operate in four modes: normal, shunt, control, and automatic locomotive signalling modes. Due to various circumstances, the latter mode did not find application on the railways of Bulgaria, therefore, the test of the effect of traction rolling stock on track circuits was carried out for normal and shunt modes. The control mode, due to the complexity of implementation, was not considered.

The practice shows that the electromagnetic interference that can affect operating modes of track circuits is mainly generated by the return traction current flowing in rails together with its harmonic components, as well as emissions from electrical equipment and units mounted in the body and under the frame of traction and non-traction rolling stock (passenger wagons).

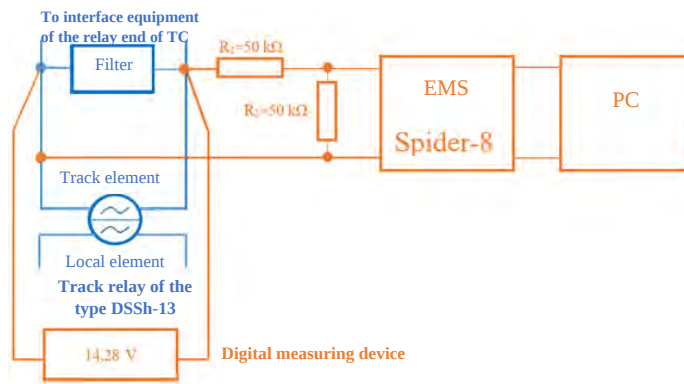
Testing the electromagnetic effect (electromagnetic compatibility) on track circuits was carried out during full-scale tests with registration of the voltage waveform, frequency and level rates at the terminals of the track receiver (at the track relay coil) with a free (normal (common) mode) and occupied (shunt mode) track circuit during periods of exposure to return traction current of electric rolling stock, as well as during periods of impacts caused by operation of electrical equipment located in the body and under the frame of traction rolling stock with autonomous traction.

All tests were carried out for reference track circuits corresponding to the types of track circuits used at railway blocks and stations using a circuit diagram, its example here (Pic. 1) refers to a phase-sensitive track circuit.

For other types of track circuits, the difference in the circuit diagram is associated

¹ National reference document of the Republic of Bulgaria. «Railway Administration» Executive Agency [Национален референтен документ на Република България. Изпълнителна агенция «Железопътна администрация»], Sofia, 2016.





Pic. 1. R_1, R_2 – voltage divider resistors; EMS – electronic measurement system Spider-8; PC – personal computer [2].

with the type of track relay, and in the case of DC track circuits, with the absence of a filter.

During the tests, all electrical equipment located in the body and under the locomotive frame (transformers, converters, rectifiers, traction and non-traction motors, lighting, climate installations (if any), automatic locomotive signalling devices (relevant for imported locomotives), and radio communication devices) were switched on, and when it was possible, operated at extreme modes. Testing was conducted during short-term entry of locomotives in the country to obtain permit for supposed delivery. Each testing type comprised two experiments due to time constraints within established maintenance time intervals in train traffic.

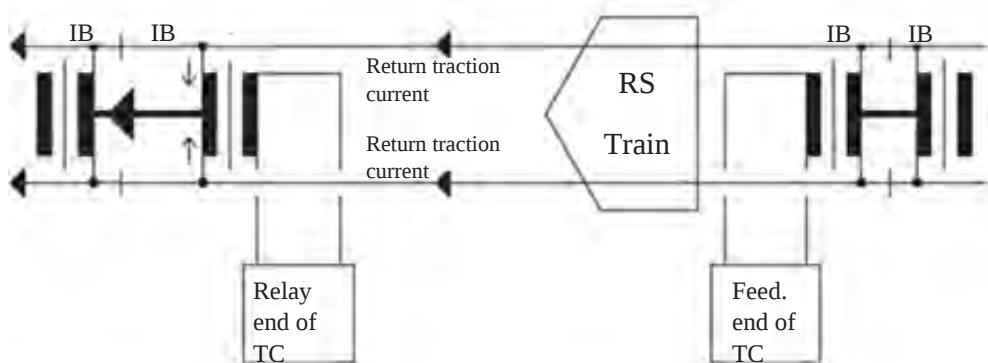
a. Additional conditions for testing electric locomotives with electric traction of 50 Hz, 25 kV AC.

The tests of electric locomotives were carried out in compliance with the following additional conditions:

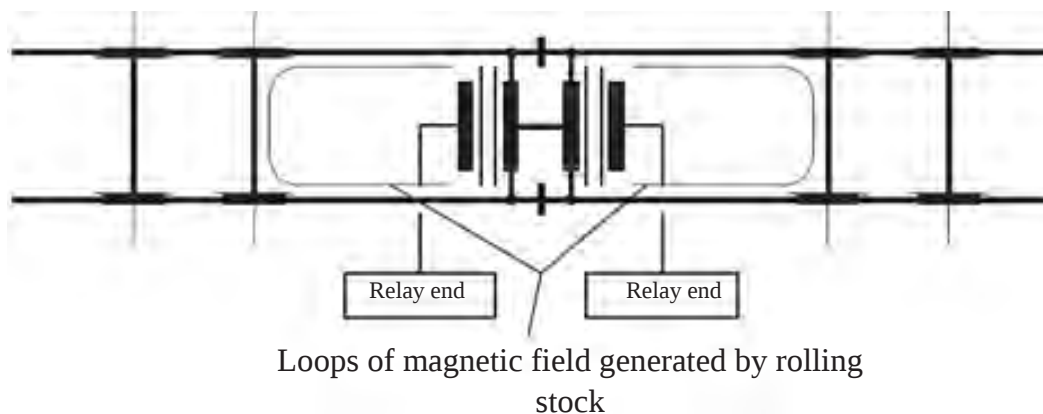
- when a train/a locomotive approaches an unoccupied track circuit (normal mode), as well as when it is occupied (shunt mode), it is necessary that the return traction current flows through the receiving or (as particular case) through relay end of the TC (Pic. 2), when this end is at the exit from the TC [1].

- on the corresponding section where the locomotive was operated, there would be no other traction rolling stock, besides the tested one.

During the tests of the electric locomotive, the voltage waveform, frequency, and level rates at the terminals of the track receiver (on the track relay coil) were recorded when the locomotive was moving to an unoccupied TC, during its occupation, and also when starting from rest with the maximum possible tractive effort. The return traction current (in compliance with safety conditions) was measured with a Dietze's clamp meter at the points where



Pic. 2. Conditions of electric locomotives testing [1].



Pic. 3. Conditions of diesel locomotive testing [1].

the impedance bonds (IB) were connected to the rails.

b. Additional conditions for testing diesel locomotives.

In case of diesel traction with electric gear, an additional rule was observed which was the most difficult one from an operational point of view: in the shunt mode of the tested track circuit, the diesel locomotive should stay in a stationary state on the track so that the points of connection to the rails of the equipment of the receiving (relay) end of the track circuit were located between the points of contact of the inner wheelsets with the rails [1].

The tests were carried out for different cases of arrangement of the equipment of two adjacent track circuits (two receiving ends, as well as a feed and relay end for options with and without impedance bonds).

During the tests of the diesel locomotive, the voltage waveform, frequency, and level rates at the terminals of the track receiver (on the coil of the track relay) were also recorded in stationary conditions, while driving and starting off with the maximum possible tractive effort. When the tests were carried out on an electrified site, it was necessary to make sure that at this moment the return traction current in rails, measured by the Dietze current clamp, was equal or close to zero.

3. Scope of tests

At different times, six 50 Hz, 25 kV AC electric locomotives and a diesel locomotive were subject to testing the electromagnetic effect of traction rolling stock on track circuits.

The following locomotives were tested:

1) Electric locomotive with a capacity of 6400 kW (maximum return traction current of about 255 A). During the tests, a freight train weighing 1100 tons was coupled to it.

2) Electric locomotive with a capacity of 6000 kW (maximum return traction current of about 240 A). During the tests, an auxiliary electric locomotive was coupled to it, which, to provide the load, worked in the mode of rheostatic braking.

3) Electric locomotive with a capacity of 5600 kW (maximum return traction current of about 225 A). During the tests, a freight train weighing 1000 tons was coupled to it.

4) Electric locomotive with a capacity of 5600 kW (maximum return traction current of about 225 A). During the tests, an auxiliary electric locomotive was coupled to it, which, to provide the load, worked in the mode of rheostatic braking.

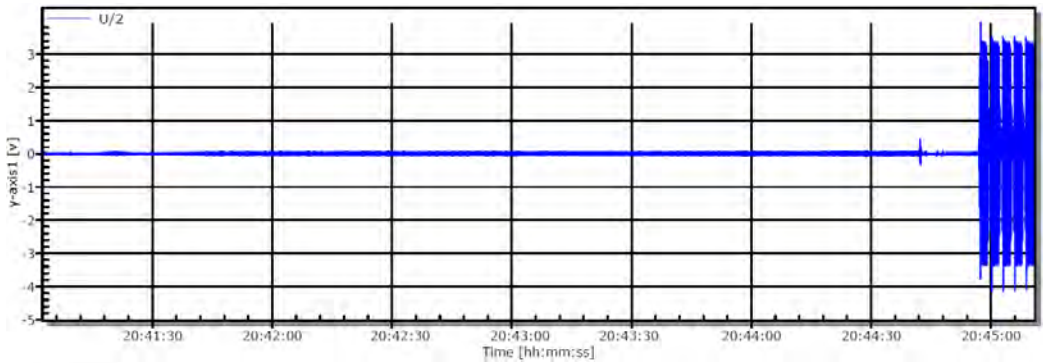
5) Electric locomotive with a capacity of 5500 kW (maximum return traction current of about 220 A). During the tests, an auxiliary electric locomotive was coupled to it, which, to provide the load, worked in the mode of rheostatic braking.

6) Electric locomotive with a capacity of 4250 kW (maximum return traction current of about 175 A). During the tests, an auxiliary electric locomotive was coupled to it, which, to provide the load, worked in the mode of rheostatic braking.

7) Diesel locomotive with a capacity of 1600 kW.

In all cases, an electric locomotive was located at the end of the train, which already had the right to access the railway infrastructure. It carried out





Pic. 4. Pulse track circuit of 25 Hz (shunt mode and starting from rest) [2].

movement of a train/a test locomotive to test objects, as well as auxiliary movements during the tests. During some tests in rheostat braking mode, it was the load/commodity for the test locomotive. At time of testing, this locomotive was not connected to the overhead line.

4. Results of tests

Tests of electric locomotives and of a diesel locomotive have revealed a series of effects.

4.1. Effect No 1: Shunting track circuits and locomotive starting from rest

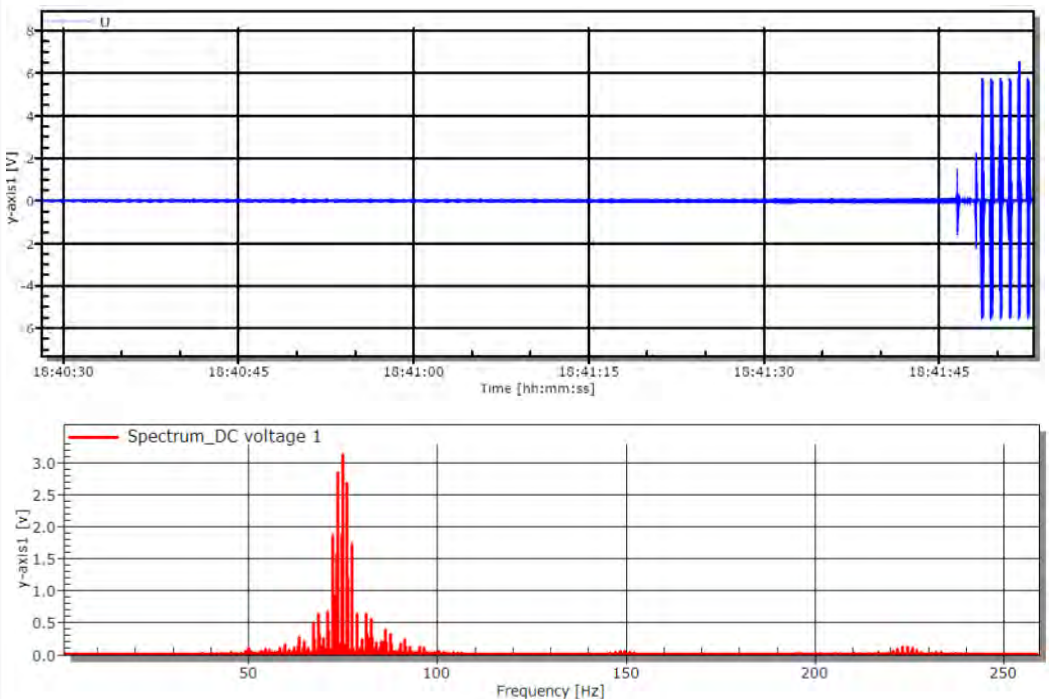
4.1.1. Tests of electric locomotives

Pics. 4–7 show fragments of the oscillograms demonstrating the effect of shunting the

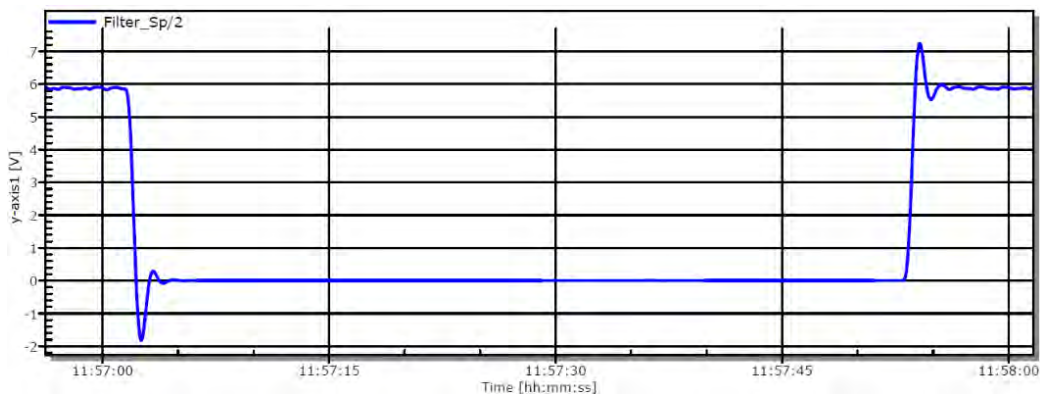
reference types of track circuits during tests under the influence of the indicated locomotives. Due to similarity of the obtained results, the number of oscillograms is deliberately limited.

The above oscillograms show that during the tests in the normal mode as well as in the shunt mode, no interference was detected that might have led to abnormal operation of all reference types of track circuits. Wherein:

1) In case of a traction vehicle moving towards an unoccupied track circuit, no changes were observed in the waveform and amplitude of the signal current. The frequency spectrum of the alternating current track circuits contained only the signal current frequency (Pic. 5). In case of a direct current



Pic. 5. Code track circuit of 75 Hz (shunt mode and starting from rest). Frequency spectrum at the terminals of the pulse track relay [2].



Pic. 6. 71–83 Hz track circuit with control of short circuit of insulating joints with heterodyne (transition from normal to shunt mode, shunt mode and transition to normal mode) [2].

track circuit, in addition to traction current frequency (50 Hz), a strong second harmonic was also observed during starting from rest (Pic. 7), which together did not affect functioning of the track circuit.

2) When the feed end of the track circuit was shunted and when movement was carried out to the receiving end, the track receiver (track relay) steadily passed from «energised» state to «de-energised (no current)» state, and when the track circuit was released, it passed from «de-energised» state to the «energised» state.

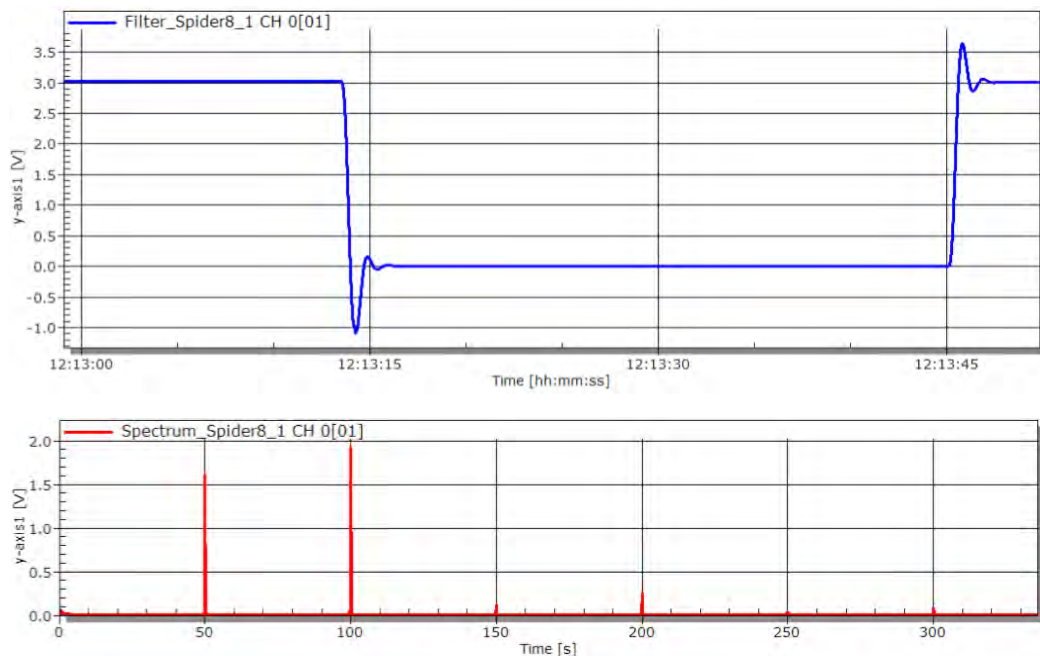
3) In the shunt mode, the residual voltages recorded at the track receiver were 50 or more

times lower than the reliable operate voltage and 33 or more times lower than the reliable drop-out voltage of the receiver.

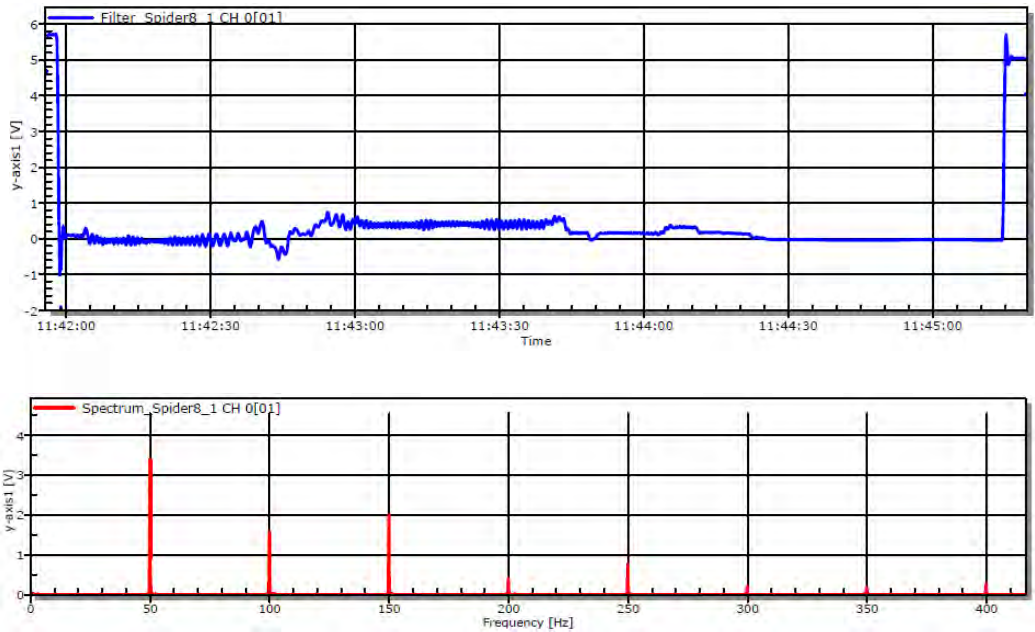
4) If locomotives occupied:

- A pulse track circuit, then the movable contact of the pulse track relay stably rested against the fixed contact without displacement or bouncing.

- A track circuit with a neutral track relay or with a neutral repeater of a pulse track relay, then the armature was stably in drop-out position. Before occupation of the track circuit, as well as after its release, the anchor was stably pulled. In both conditions, no attempts to move or bounce were observed.



Pic. 7. DC track circuit (transition from normal to shunt mode, shunt mode and transition to normal mode). Frequency spectrum of the signal at the terminals of track relay when starting from rest [2].



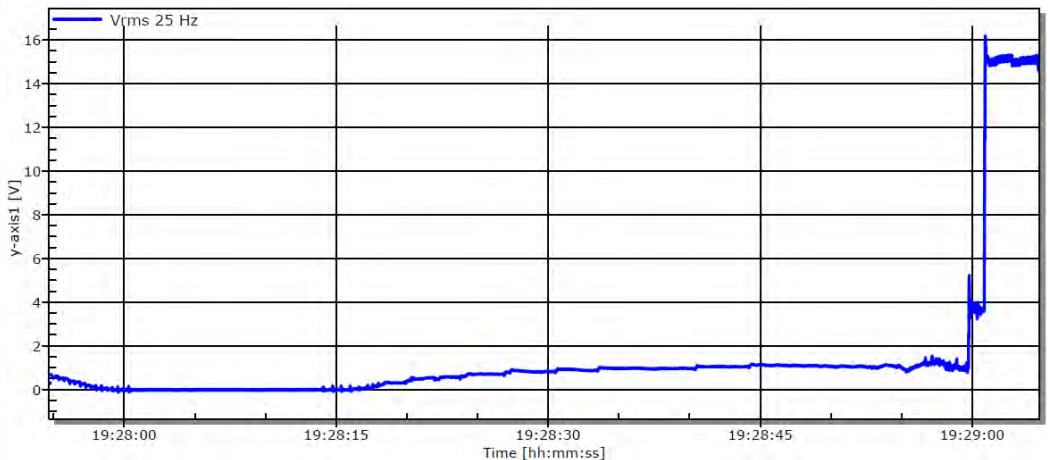
Pic. 8. DC track circuit (transition from normal to shunt mode, shunt mode, starting from rest and transition to normal mode). Frequency spectrum of the signal at the terminals of track relay [2].

• A phase-sensitive track circuit, then a sector of the track relay stably rested against the lower limiting roller without displacement and/or vibration. Before occupying the track circuit, as well as after its release, the relay sector stably and motionlessly rested against the upper limiting roller.

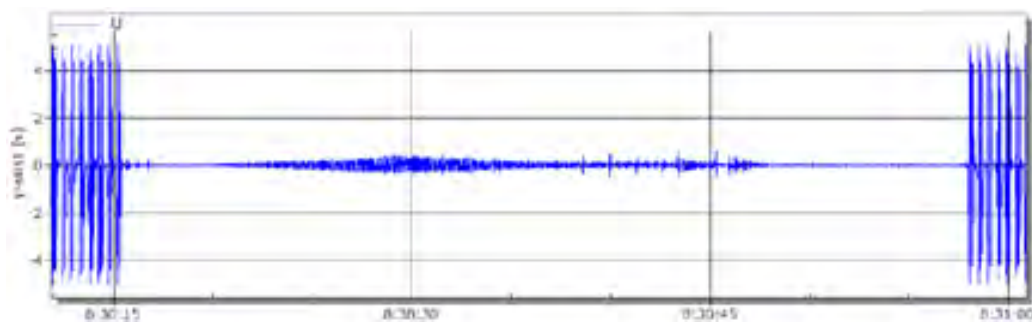
4.1.2. Tests of a diesel locomotive

During stationary tests of a diesel locomotive under the conditions shown in Pic. 3, no abnormal switching on of the switched off track receiver/track relay was observed.

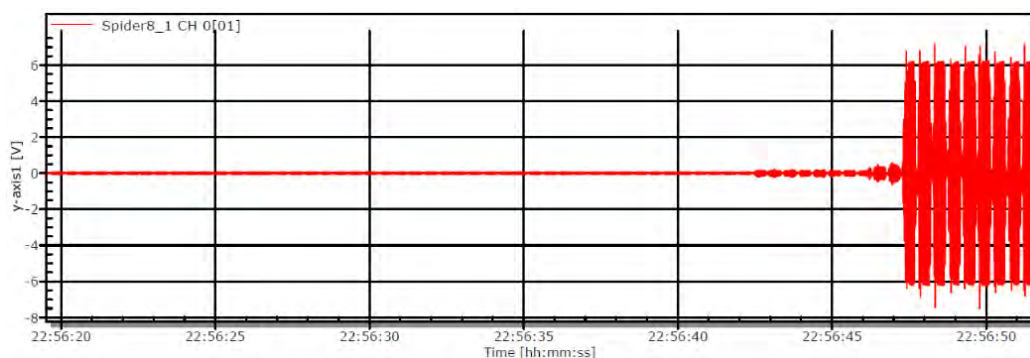
Under normal conditions, as well as in shunt mode, including starting from rest, no cases of abnormal functioning of reference types of track circuits were revealed. The results are the same as in the cases of testing electric locomotives (Pics. 4–7). However, in case of shorter DC track circuits, during locomotive's braking and starting from rest, noise with an amplitude of about 0,7 V was detected (Pic. 8). At the same time, a 50 Hz signal was present in the frequency spectrum with the highest amplitude, which is unusual for harmonic components of the rectified supply voltage of



Pic. 9. Phase-sensitive track circuit with the relay of DSSH-13 type (starting from rest and transition from shunt mode to normal mode) [2].



Pic. 10. 75 Hz pulse track circuit [2].



Pic. 11. 25 Hz pulse track circuit (influence of an electric locomotive) [2].

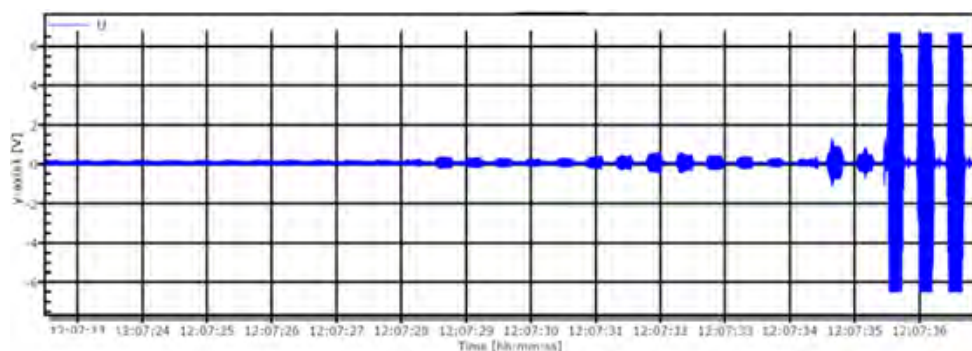
DC track circuits. Therefore, it should be considered that the tested locomotive was the source of 50 Hz interference and of 50 Hz-fold noises, which can be explained by electromagnetic emissions due to switching of its individual units. This is confirmed by the fact that the noise has a varying amplitude, which is associated with transients. If we accept that a diesel locomotive generates those noises, which could not be absolutely proven, then the experiment showed unequivocally that they do not have a dangerous effect on the shunt mode of a DC track circuit.

In case of phase-sensitive track circuits, when the diesel locomotive started from rest

and during transition from shunt to normal mode, interference with an amplitude of about 1,5 V was observed, which did not affect the state of DSSh-13 relay sector which was in a stable lower position (Pic. 9).

4.2. Effect No. 2: Generation of interference when lowering and raising the pantograph of electric locomotives during passage of the so-called «neural inserts»

Pic. 10 shows an oscillogram of voltage of the track receiver (pulse track relay type IMVSh-110 after FP-75 filter) of the 75 Hz pulse track circuit in shunt mode during the test of the above-mentioned locomotive No. 1.



Pic. 12. 75 Hz pulse track circuit (influence of a diesel locomotive) [2].





The Pic. 10 shows that the amplitude of voltage of the positive and negative half-waves reaches about 0,5 V, which is more than six times lower than the voltage of reliable attraction of the relay armature (3,2 V) and about four times lower than the voltage of reliable drop-out of the relay armature (2 V). In addition, the interference is of aperiodic nature, which does not create prerequisites for a false relay operation.

Similar results were obtained during the periods the rest of the indicated electric locomotives affected the reference types of track circuits. Thus, it has been established that during the shunt mode of track circuits, the generated interference when lowering and raising the pantograph of electric locomotives does not cause an abnormal activation of the track relay.

Effect No. 3: Shunting insulating joints of two adjacent track circuits when a locomotive/a train moves from one track circuit to another

In this case, when rolling stock moved from a pulse track circuit to the neighbouring one, there was an effect observed, that in the shunt mode the residual voltage at the track receiver had a value other than zero. In this case, clearly distinguishable impulses were detected, albeit with an exceptionally low amplitude (Pics. 10–12). Tested locomotives cannot be a source of this voltage since this effect takes place both in case of a train of two electric locomotives (a tested and an auxiliary one) (Pic. 11), and in case of a diesel locomotive with an electric

locomotive coupled to it with a lowered pantograph (Pic. 12).

The oscillogram (Pic. 10) that also recorded that effect, differs, as there were freight cars behind the tested locomotive, during the passage of which through the insulating joints the detected effect did not take place (segment of the oscillogram showing the end of the shunt mode). It also shows that the pulse sequence has the same frequency and pulse duration as the supply voltage of the corresponding track circuits.

The observed effect can be explained as follows. On the one hand, wheelsets of locomotives shunt the rail line on both sides of the insulating joints, which leads to a shunt effect for each of the track circuits. On the other hand, each insulating joint is shunted by the impedance (total resistance) of traction rolling stock and active resistance of the metal structure of rolling stock (both traction and non-traction RS).

To reveal this effect, it is necessary that two adjacent track circuits have opposite ends (receiving end of a TC and feed end of the other TC). In this case, the signal current supply from one track circuit is transferred to the receiving end of the other one. As a result, it was found, as indicated above, that in the shunt mode the residual voltage on the track receiver is not zero, while clearly distinguishable pulses of a characteristic frequency and waveform with low amplitude are observed, which in these cases can be considered as interference.

Oscillograms (Pics. 11, 12) show that the pulse noise has a duration of about $5\div 7$ s, which is commensurate with time when both locomotives (tested and auxiliary one) cross the zone of insulating joints, i.e., the noises continue until the moment when the previous track circuit (when moving forward) is released by them. The case when the detected interference (Pic. 10) at the end of the shunt mode is followed by a section of the oscillogram without interference, can be explained by passage of freight cars of the train at this time, which suggests that the reason for this interference is associated with the effect of the impedance of locomotives.

Pics. 11, 12 show also that the recorded interference has an amplitude of about 0,5 V, which is ten times lower than the amplitude of the signal current, more than six times lower than the voltage of reliable attraction of the relay armature (3,2 V) and about four times lower than the voltage of the reliable drop-out of the relay armature (2 V). It has been categorically established that this interference does not cause abnormal activation of the track relay during the shunt mode of track circuits.

It should be noted that this effect takes place exclusively in case of pulse, including code, track circuits of 75 and 25 Hz, which can be explained by their principle of operation and their high sensitivity.

4.3. Effect No. 4: Impact of return traction current on impedance bonds

In one's time, when introduction of relay interlocking with AC track circuits began, it was decided that impedance bonds (IB) of DT1-150 type (later of DT0, 2-150, DT0, 6-150 types as well) would be used to pass the return traction current. The power of electric locomotives, even in case of multiple traction, then did not create problems in this regard.

At present, as can be seen from paragraph 3, the situation has changed. Electric locomotives with a capacity of more than 3750 kW with an electric traction of 25 kV create a return traction current of more than 150 A each, that is why, if they are used for multiple traction, there are prerequisites for overheating and even burnout of the traction winding of IB, especially on within the blocks where traffic is organised along the track circuits of the length of about 2000 m.

The solution in that situation is as follows:

- either to prohibit multiple traction of powerful electric locomotives on sections with AC track circuits, which raises objections from the carrier companies,
- or to switch to the use of axle counters, which is happening on the newly modernized sections of the railway, as well as in relay interlocks, whose residual resource is still quite large (ten years or more).

5. Conclusion.

1) Testing of these locomotives has shown that from the point of view of electromagnetic compatibility, none of them can be a source of electromagnetic interference that would have posed a threat to abnormal operation of track circuits used, and hence a threat to safety of train traffic.

2) Even though the part of track circuits listed in introduction to the article was developed in the middle of the last century, and the shorter electronic track circuits were developed in 1970–80s, all types of track circuits used on the railways of Bulgaria turned out to be very resistant to electromagnetic interference emanating from tested models of modern traction rolling stock. This indicates that the methods of protection against the effects of return traction current with a frequency of 50 Hz, chosen in one's time, such as:

- frequency characteristics (signal current frequencies of 75 Hz, 25 Hz, 0 Hz (in some countries), 30 kHz, and others);
 - pulse characteristics, including code one;
 - phase characteristics,
- continue to be relevant and effective today.

3) When using 50 Hz, 25 kV electric locomotives with capacity of more than 3750 kW on the railways of Bulgaria, it is advisable either to prohibit to use them for multiple traction on sections with AC track circuits, or to start using axle counters.

REFERENCES

1. EN50238-1:2003. Railway applications – Compatibility between rolling stock and train detection systems. Part 1: General. [Electronic resource]: <https://infostore.saiglobal.com/preview/is/en/2003/i.s.en50238-1-2003%2Bac-2014.pdf?sku=1776720>. Last accessed 20.06.2020.
2. Protocols of tests of the electromagnetic effect of traction rolling stock on track circuits used on the railways of Bulgaria. Dimitrov, R. [et al]. TINSA Ltd., Sofia, 2015–2020.





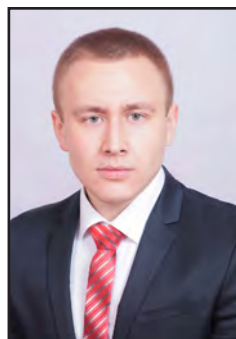
Мониторинг технического состояния электровозов переменного тока по расходу электроэнергии на тягу поездов



Александр СЕМЕНОВ



Виктор СЕМЧЕНКО



Игорь ХРОМОВ

Семенов Александр Павлович — ОАО «Научно-исследовательский институт технологии, контроля и диагностики железнодорожного транспорта», Омск, Россия.

Семченко Виктор Васильевич — АО «Дорожный центр внедрения Красноярской железной дороги», Красноярск, Россия.

Хромов Игорь Юрьевич — ООО «2050-Интегратор», Москва, Россия.*

В настоящее время широко развиваются методы диагностирования технического состояния локомотивов по данным бортовых микропроцессорных систем управления. В России в настоящее время такой мониторинг является действующей технологией системы технического обслуживания и ремонта локомотивов.

Основной проблемой реализации мониторинга является ограниченность набора датчиков в цепях локомотива. Увеличение количества датчиков ведёт к снижению надёжности и увеличению стоимости локомотива и его жизненного цикла, но повышает качество диагностической информации.

При этом целесообразно иметь интеграционные показатели технического состояния локомотива. В статье представлен программный продукт для ЭВМ по анализу технического состояния локомотива, по динамическим данным о расходе активной и генерации реактивной электроэнергии на тягу поездов. Программное обеспечение разработано на алгоритмическом языке Visual BASIC for Applications, встроенного в MS Excel, с использованием вероятностно-статистических методов анализа.

Основа метода для диагностирования технического состояния локомотивов в системе их мониторинга – сравнение динамики расхода активной и генерации реактивной энергий двух секций одного локомотива по принципу функционального бенчмаркинга. При мониторинге технического состояния локомотивов предлагается использовать понятие «предотказ», определяемый как работоспособное состояние локомотива при наличии внутренних скрытых дефектов или повреждений. Предотказ проявляется в расходе электроэнергии. Для анализа технического состояния электровозов переменного тока по расходу электроэнергии исходные данные должны обладать высокой степенью унимодальности, что определяется однотипностью условий эксплуатации.

Полученные в результате анализа технического состояния локомотива, по динамическим данным о расходе активной и генерации реактивной электроэнергии на тягу поездов, итоговые данные можно использовать для определения дефекта, вызывающего изменение расхода электроэнергии, при заходе локомотива на техническое обслуживание и ремонт.

Ключевые слова: железная дорога, локомотив, мониторинг технического состояния, тяга поездов, электровоз, микропроцессорные системы управления

*Информация об авторах:

Семенов Александр Павлович – кандидат технических наук, генеральный директор ОАО «Научно-исследовательский институт технологии, контроля и диагностики железнодорожного транспорта» (ОАО «НИИТКД»), Омск, Россия, corp@niitkd.ru.

Семченко Виктор Васильевич – кандидат технических наук, генеральный директор АО «Дорожный центр внедрения Красноярской железной дороги», Красноярск, Россия, office@dcv.ru.

Хромов Игорь Юрьевич – бизнес-аналитик ООО «2050-Интегратор», Москва, Россия, KhromovYu@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 13.05.2020, принята к публикации 23.10.2020.

For the English text of the article please see p. 76.

1. ОПЫТ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПО ДАННЫМ МСУ

В настоящее время широко развиваются методы диагностирования технического состояния локомотивов по данным бортовых микропроцессорных систем управления (МСУ) [1]. Наибольший опыт накоплен компанией General Electric, где в ситуационном центре завода-изготовителя тепловозов в городе Эри (США) осуществляется в онлайн-режиме мониторинг технического состояния более 15 тыс. секций тепловозов по данным, передаваемым в автоматическом режиме с борта локомотива от микропроцессорных систем управления (МСУ) при помощи системы Bright Star [1; 2]. Аналогичный опыт есть и у компаний Siemens, Alstom, Bombardier [1].

Интересный опыт накоплен и отечественным железнодорожным транспортом [1; 3; 4]. Например, в группе компаний «ЛокоТех» в сервисных локомотивных депо (СЛД) созданы группы диагностики, которые при заходе локомотива в депо считывают с бортовых МСУ с помощью переносных флеш-накопителей информацию и расшифровывают её на стационарных компьютерах с использованием специального программного обеспечения автоматизированных рабочих мест (АРМ МСУ). Данные используются как для мониторинга режимов эксплуатации локомотивов [5], так и для планирования объёма ремонта при заходе локомотива в СЛД [6]. Аналогично Новочеркасский электровагоностроительный завод (НЭВЗ, г. Новочеркасск), Коломенский тепловозостроительный завод (КЗ, г. Коломна) и Брянский машиностроительный завод (БМЗ, г. Брянск) АО «Трансмашхолдинг» [7] осуществляют мониторинг гарантийных локомотивов. Аналогичный опыт накоплен у компании «Уральские локомотивы» [8] совместно с НПО «САУТ» и «ТрансИнфо-Проект» [9].

Большой опыт технического обслуживания и ремонта (ТОиР) электронного и микропроцессорного оборудования с использованием данных бортовых МСУ накоплен в Дорожном центре внедрения Красноярской железной дороги (далее — ДЦВ), где разработана уникальная модель ТОиР [10], получившая в 2019 году приз

ОАО «РЖД» за лучшую систему в области управления надёжностью локомотивов.

Все существующие системы мониторинга выявляют возникшие отказы, локализируют возможное место их возникновения [11; 12]. При ТОиР локомотивов больший интерес представляют предотказные технические состояния, которые согласно ГОСТ 27.002-2015 [12] определены как «Состояние объекта, характеризующееся повышенным риском отказа». Фактически — это один из видов прогнозирования остаточного ресурса по ГОСТ 20911-89 [11] (ресурса предельного состояния по ГОСТ 57445-2017). Для удобства регистрации события авторами дополнительно предлагается термин «предотказ»: работоспособное состояние объекта диагностирования при наличии дефекта или повреждения (по ГОСТ 20911-89).

Например, при понижении сопротивления изоляции имеет место дефект, повышающий риск отказа, но локомотив остаётся работоспособным. На рис. 1 приведены графики изменения токов тяговых электродвигателей (ТЭД) электровагона серии ВЛ80С по данным системы автоведения (унифицированная система автоматизированного ведения поезда, УСАВП) [3]. При включении второй ступени ослабления поля (ОП) не сработал контактор одного ТЭД, в результате ток одного ТЭД не вырос — произошёл отказ. Кроме того, на второй (ОП2) и третьей (ОП3) ступенях ослабления поля наблюдался недопустимо большой разброс токов ТЭД — имеет место предотказ. Локомотив работоспособен (замечаний нет), но требуется ремонт контактора ослабления поля ОП2 и настройка резисторов ослабления поля для выравнивания токов ТЭД в параллельных цепях.

При диагностировании чаще используют аналитические и логические (параметрические) методы: выход параметров за допуски или соответствующий тренд, нарушение логики работы. Одновременно развиваются и интеллектуальные математические методы диагностирования в основном по данным статистики (data mining) [2; 16]. Например, используется метод выявления предотказных состояний у однотипного оборудования локомотива (тяговые электродвигатели, крышки цилиндров и др.) по коэффициенту корреляции



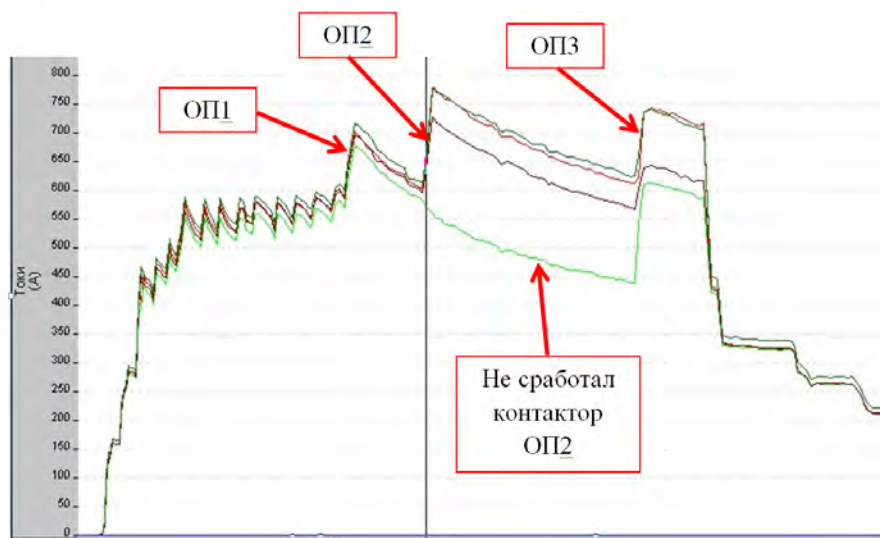


Рис. 1. Пример обнаружения отказа и предотказа по данным МСУ [3].

[13]. Данные мониторинга используются в технологическом процессе ТОиР локомотивов [14].

Таким образом, мониторинг технического состояния локомотивов по данным бортовых МСУ в настоящее время является действующей технологией системы ТОиР локомотивов.

Главной проблемой мониторинга по данным МСУ является ограниченность набора датчиков в цепях локомотива. Их увеличение повышает диагностическую информативность, но снижает надёжность и повышает стоимость локомотива и его жизненного цикла. Желательно иметь интеграционные показатели технического состояния локомотива.

Наряду с мониторингом технического состояния локомотивов и режимов их эксплуатации активно развиваются дистанционные методы контроля расхода топлива и электроэнергии на тягу поездов, что создаёт дополнительные предпосылки для мониторинга технического состояния локомотивов. Например, система учёта топлива тепловозов «Борт» разработки Научно-исследовательского института технологии, контроля и диагностики железнодорожного транспорта (НИИТКД) [15] позволяет контролировать техническое состояние локомотива как по логическому анализу контролируемых технических параметров (число оборотов вала дизеля

и мощность на каждой позиции контроллера машиниста, давление, температура и др.), так и по расходу топлива: если при норме расхода дизельного топлива в 205 г/кВт·ч наблюдается расход в 250 г/кВт·ч, то высока вероятность наличия на локомотиве предотказа в дизель-генераторной установке (ДГУ) [16].

В настоящее время на электровозах внедряются современные электронные счётчики электроэнергии типа СЭППТ с системой радиопередачи информации АСИМ производства компании «АВП Технология» в онлайн-режиме на стационарный сервер [17]. При этом класс точности СЭППТ составляет в режиме тяги по активной энергии 0,2 и по реактивной энергии 0,5. Показания счётчиков передаются в информационные системы ОАО «РЖД» (примерно каждые четыре минуты). Данные достоверны и доступны, например, в виде отчётов УСАВП (табл. 1).

Затраты на создание автоматизированной системы учёта электроэнергии согласно плану ОАО «РЖД» должны окупиться за счёт дальнейшей экономии энергоресурсов, и одновременно появляется дополнительная возможность комплексной оценки технического состояния локомотива. В ДЦВ выполнен анализ возможностей мониторинга технического состояния электровозов по динамике расхода электроэнергии на тягу поездов.

Таблица 1

Данные о расходе электроэнергии из отчёта УСАВП

Серия	№	Секция	Дата и время отправки	№ счётчика	Активная энергия тока тяги, кВт•ч	Активная энергия тока рекуперации, кВт•ч	Реактивная энергия тока тяги, кВАр•ч	Реактивная энергия тока рекуперации, кВАр•ч
ВЛ80Р	1769	А	31.08.2019 11:40:02	0	4132097	4751613	3951915	4856641
ВЛ80Р	1769	А	31.08.2019 11:45:02	0	4132100	4751613	3951925	4856641
ВЛ80Р	1769	А	31.08.2019 11:50:02	0	4132103	4751613	3951936	4856641
ВЛ80Р	1769	А	31.08.2019 11:55:02	0	4132105	4751613	3951945	4856641
ВЛ80Р	1769	А	31.08.2019 12:00:02	0	4132108	4751613	3951956	4856641
ВЛ80Р	1769	А	31.08.2019 12:05:02	0	4132110	4751613	3951969	4856641
ВЛ80Р	1769	А	31.08.2019 12:10:02	0	4132217	4751613	3952062	4856641

Таким образом, автоматизированные системы учёта энергоресурсов предоставляют дополнительные возможности мониторинга технического состояния локомотивов.

Целью исследования является повышение эффективности мониторинга технического состояния электровозов переменного тока с выпрямительно-инверторными преобразователями *методом* диагностирования их исправности в целом — по данным электронных счётчиков электроэнергии, передающих данные в онлайн-режиме.

2. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Большинство отечественных электровозов переменного тока производства Новочеркасского электровозостроительного завода (Трансмашхолдинг) имеют привод постоянного тока, управляемый через выпрямительно-инверторные преобразователи (ВИП) [18; 19], позволяющие плавно управлять режимами тяги и рекуперации. Электровозы с ВИП (ВЛ80Р, ВЛ85, ЭП1, ЭС5К) надёжней большинства других локомотивов, обладая при этом эффективными тяговыми характеристиками [20], поэтому эксплуатируются в тяжёлых условиях Восточного полигона ОАО «РЖД» [21–23]. В качестве существенного

недостатка их силовой схемы следует отметить низкий коэффициент мощности, связанный с большим объёмом реактивной энергии [24; 25].

В ДЦВ разработаны методика и соответствующее программное обеспечение для мониторинга электровозов с ВИП [26]: по динамическим данным о расходе активной и реактивной электроэнергии на тягу поездов (табл. 1) выполняется анализ технического состояния локомотива. Программное обеспечение разработано на алгоритмическом языке Visual BASIC for Applications (VBA), встроенного в MS Excel [27], с использованием вероятностно-статистических методов анализа [28]. Чтобы избежать влияния условий эксплуатации локомотива на результаты анализа эффективности модернизации, предлагается подвергать модернизации одну секцию электровоза, сравнивая параметры её эксплуатации со второй немодернизированной секцией, работающей в точности таких же условиях (пробег, масса поезда, профиль, климатические и погодные условия, др.). Кроме эффективности модернизации можно контролировать и техническое состояние секций, сравнивая их друг с другом.

В начале работы программы по заданному диапазону и интервалу суммирования



Расчёт расхода электроэнергии по показаниям счётчиков

Дата и час события	Рассчитанный расход электроэнергии, кВтАр • ч					
	ВЛ80Р № 1793А			ВЛ80Р № 1854Б		
	W _{а1}	W _{р1}	K _{м1}	W _{а3}	W _{р3}	K _{м3}
19.07.2020 11:00	1694,0	1466,0	0,756	1288,0	1048,0	0,775
19.07.2020 15:00	2660,0	2041,0	0,793	2666,0	2067,0	0,790
19.07.2020 19:00	2939,0	2275,0	0,790	2943,0	2315,0	0,786
19.07.2020 23:00	588,0	488,0	0,769	634,0	523,0	0,771
20.07.2020 00:00	922,0	1201,0	0,608	939,0	1238,0	0,604
20.07.2020 04:00	1014,0	1237,0	0,634	1015,0	1230,0	0,636
20.07.2020 08:00	2928,0	2308,0	0,785	2961,0	2346,0	0,784



Рис. 2. Динамика изменения потребления активной энергии двумя секциями электровоза (составлено авторами).

показания электронных счётчиков каждой секции (табл. 1) пересчитываются в данные о расходе электроэнергии (табл. 2).

Расход активной и реактивной энергий рассчитывается по разнице показаний счётчиков каждой секции электровоза за смежные периоды (табл. 1). Полная электроэнергия W_i и коэффициент мощности K_{M_i} за период i рассчитываются по активной W_{a_i} и реактивной энергиям W_{r_i} :

$$W_i = \sqrt{W_{a_i}^2 + W_{r_i}^2}; \tag{1}$$

$$K_{M_i} = \frac{W_{a_i}}{\sqrt{W_{a_i}^2 + W_{r_i}^2}} = \frac{W_{a_i}}{W_i}. \tag{2}$$

Для исключения погрешности из-за асинхронности поступления данных с каждой секции и повышения точности измерения поступающие со счётчиков локомотива данные W_i группируются путём их суммирования:

$$W = \sum_{i=1}^n W_i, \tag{3}$$

где n — число поступивших данных за выбранный период времени, кратный часу.

В результате строятся динамические графики расхода электроэнергии. На рис. 2 приведены данные электровоза ВЛ80Р-1793А/1854Б, по которым зафиксировано отключение одного ВИП второй секции с последующим восстановлением его работоспособности: по динамическим диаграммам можно в онлайн-режиме оценить техническое состояние локомотива.

На рис. 3 показана зависимость коэффициента мощности K_m от текущей мощности W (табл. 2) как расход электроэнергии за час. При потребляемой мощности менее 200 кВт • ч (фактически, мощность, рассчитанная по расходу электроэнергии) значение коэффициента мощности носит характер белого шума (из-за соизмеримого влияния на расход электроэнергии вспомогательных машин). Поэтому для анализа данные при малой мощности (рис. 2) к

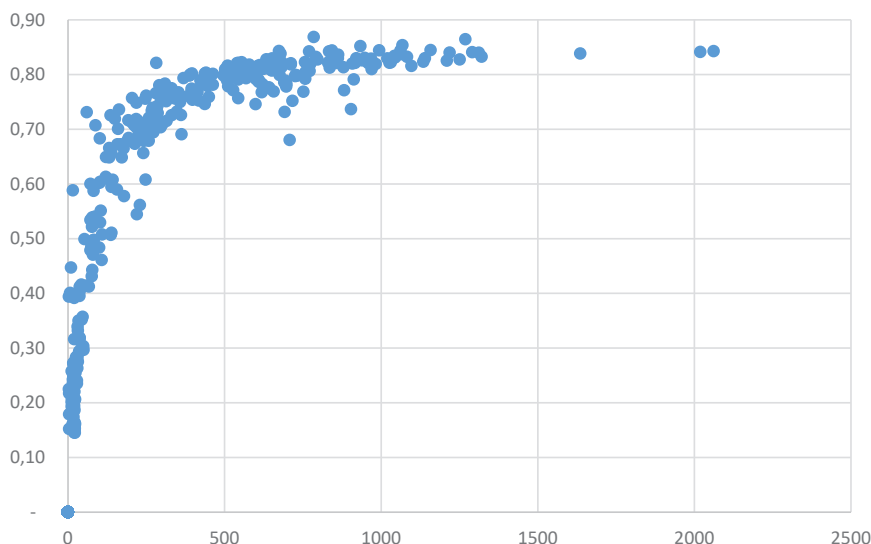


Рис. 3. Точечная диаграмма зависимости коэффициента мощности от потребляемой энергии (составлено авторами).

рассмотрению предлагается не принимать: программа преобразует исходную таблицу (табл. 2) в аналогичную, но с отфильтрованными данными.

Программа последовательно для обеих секций рассчитывает и визуализирует математическое ожидание параметров МА, их среднеквадратичное отклонение σ_A , коэффициент вариации KVA, минимальное и максимальное значения параметра, встречавшиеся в выборке [28].

Важное свойство статистической выборки, подтверждающее достоверность исходных данных и корректность исследования — это унимодальность. Согласно закону больших чисел [28], любое распределение стремится к нормальному, если нет доминирующих воздействий. Если в выборке замешано два независимых процесса, то распределение будет бимодальным и даже мультимодальным, например, если в одной выборке использованы локомотивы разных серий, разных полигонов, в разные времена года и др. В результате выводы могут быть сделаны на основе некорректных данных. Проверять унимодальность данных предлагается через вероятность соответствия распределения данных P одному из законов распределения случайной величины с использованием критерия Колмогорова—Смирнова [28] с фильтрацией исходных данных по правилу трёх сигм: отбраковываются исходные данные вне диапазона $M_A \pm 3 \cdot \sigma_A$.

Программа по установленной в ней константе разбивает общий диапазон от минимального до максимального значения на 12 поддиапазонов как оптимальных по результатам предварительных исследований. Затем рассчитывается число попаданий в каждый диапазон i . Рассчитывается разность λ между интенсивностями попадания в диапазон: теоретический R_{Ti} и фактический $R_{\Phi i}$. Берётся максимальная обнаруженная разность:

$$R_{Ti} = V_{Ti} / V_T; \quad (4)$$

$$R_{\Phi i} = V_i / V; \quad (5)$$

$$\lambda = \text{Max}(|R_{Ti} - R_{\Phi i}|), \quad (6)$$

где V — объём статистической выборки;

V_T — объём теоретической выборки;

V_{Ti} — объём расчётных попаданий в диапазон i :

$$V_{Ti} = V_T \cdot (1 / (\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi})) \cdot \int_{d1}^{d2} e^{-\frac{(x_i - M_A)^2}{2 \cdot \sigma^2}}. \quad (7)$$

Примечание: действие интегрирования реализовано как суммирование площадей прямоугольников с диапазонами $(x_2 - k_1)$.

Критерий Колмогорова—Смирнова D для нормального закона распределения случайной величины как:

$$D = \lambda \cdot (\sqrt{V} - 0,001 + 0,85 / \sqrt{V}). \quad (8)$$

Вероятность соответствия закону распределения P и вероятность достоверных отличий характеристик двух секций определяются по таблице по значению D .



Таблица 3

Общие результаты анализа

Параметры	Исследуемые пары секций одного локомотива				
	1793А/1854Б	1769А/1776А	1764А/1764Б	1764А/1784Б	1791А/1791Б
Отличие W_a , %	-0,4 %	-7,1 %	6,9 %	8,6 %	0,2 %
Отличие W_r , %	-0,2 %	-16,3 %	-4,4 %	-10,0 %	-6,9 %
Отличие W_Σ , %	-0,3 %	-11,4	1,0 %	-0,9 %	-3,5 %
Отличие K_m , %	-0,1 %	4,9 %	5,8 %	9,6 %	3,8 %
Унимодальность максимальная, %	59 %	88 %	51 %	61 %	45 %
Достоверность отличий по W_a , %	0,001 %	5 %	2 %	6 %	0,001 %
Достоверность отличий по W_r , %	0,55 %	81 %	93 %	84 %	52 %
Достоверность отличий по W_Σ , %	0,001 %	41 %	0,001 %	0,3 %	0,7 %
Достоверность отличий по K_m , %	20,8 %	99,7 %	99 %	97 %	95,8 %
Коэффициент корреляции параметров					
W_{a1}/W_{a2}	0,984	0,998	0,967	0,987	0,992
W_{r1}/W_{r2}	0,986	0,959	0,951	0,982	0,987
K_{m1}/K_{m2}	0,985	0,924	0,981	0,985	0,989
W_{a1}/W_{r1}	0,937	0,941	0,915	0,934	0,949
W_{a2}/W_{r2}	0,947	0,986	0,934	0,954	0,962

Примечание: знак в строках «отличие» W_a , W_r , W_Σ , K_m показывает направление отличий второй секции по отношению к первой.

Расчёт λ производится по интенсивности попадания в диапазон i первой R_i и второй R_2 секций:

$$\lambda = \text{Max}(|R_i - R_2|). \tag{9}$$

При сравнении двух секций расчёт D производится по формуле:

$$D = \lambda \cdot \sqrt{V} + 1 / (6 \cdot \sqrt{V}). \tag{10}$$

Тестирование программы и расчёт тестовых примеров позволил максимально автоматизировать расчёты, минимизировав при этом вероятность ошибок в вычислениях. Таким образом, разработан метод исследования энергоэффективности и технического состояния отечественных электровозов переменного тока с ВИП, обладающий следующими преимуществами:

- привязка к существующим автоматизированным информационным источникам ОАО «РЖД» о расходе электроэнергии на тягу поездов;
- автоматический расчёт статистических показателей по большому объёму исходных данных (до 2800 суток);
- визуализация результатов расчётов;

• простая и наглядная адаптация программы в среде VBA [26] под особенности решаемых задач.

Таким образом, разработанная методика и программное обеспечение позволяют выполнить научно-технический анализ возможности мониторинга технического состояния электровозов переменного тока с ВИП по данным о расходе активной и реактивной электроэнергии на тягу поездов.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СЕКЦИЙ

В ДЦВ по данным отчётов УСАВП [17] с использованием разработанной методики и программного обеспечения [26] выполнен анализ расхода электроэнергии электровозов серии ВЛ80Р [21] (в т.ч. в трёхсекционном исполнении): 1793А/1854Б, 1769А/1776А, 1764А/1764Б, 1764А/1784Б, 1791А/1791Б. В табл. 3 приведены основные результаты исследований по данным за четыре месяца 2019 года (в среднем по 36 тыс. строк (табл. 1) исходных данных).

К основным результатам анализа относятся следующие:



Рис. 4. Динамика изменения параметров секций ВЛ80Р-1769А (1) и ВЛ80Р-1776А (3) (составлено авторами).

1. Исходные данные обладают высокой степенью унимодальности, что определяется однотипностью условий эксплуатации (профиль, масса поезда, погодные условия и др.) на Восточном полигоне ОАО «РЖД».

2. Только один из пяти локомотивов (ВЛ80Р-1793А/1854Б) можно считать технически исправным (без признаков предотказов), т.к. разброс потребления электроэнергии не превышает 0,4 %. У остальных локомотивов очевидно есть проблемы с их техническим состоянием – имеют место предотказы.

3. Самым чувствительным оказался параметр «Достоверность отличий по коэффициенту мощности K_m », определяемый по критерию Колмогорова-Смирнова.

Даже у ВЛ80Р-1793А/1854Б при минимальном разбросе значений параметров «Достоверность отличий по коэффициенту мощности K_m » составила 20,8 %. У остальных локомотивов этот параметр был выше 95 %.

4. Самым нечувствительным параметром оказался параметр «Отличия по общей энергии W_Σ », что вызвано разнонаправленностью отличий по активной и реактивной электроэнергии.

5. Коэффициент корреляции отражает визуально очевидное различие в динамических графиках параметров двух секций.

Таким образом, мониторинг технического состояния электровазов переменного тока возможен по данным о расходе активной и генерации реактивной электроэнергии.



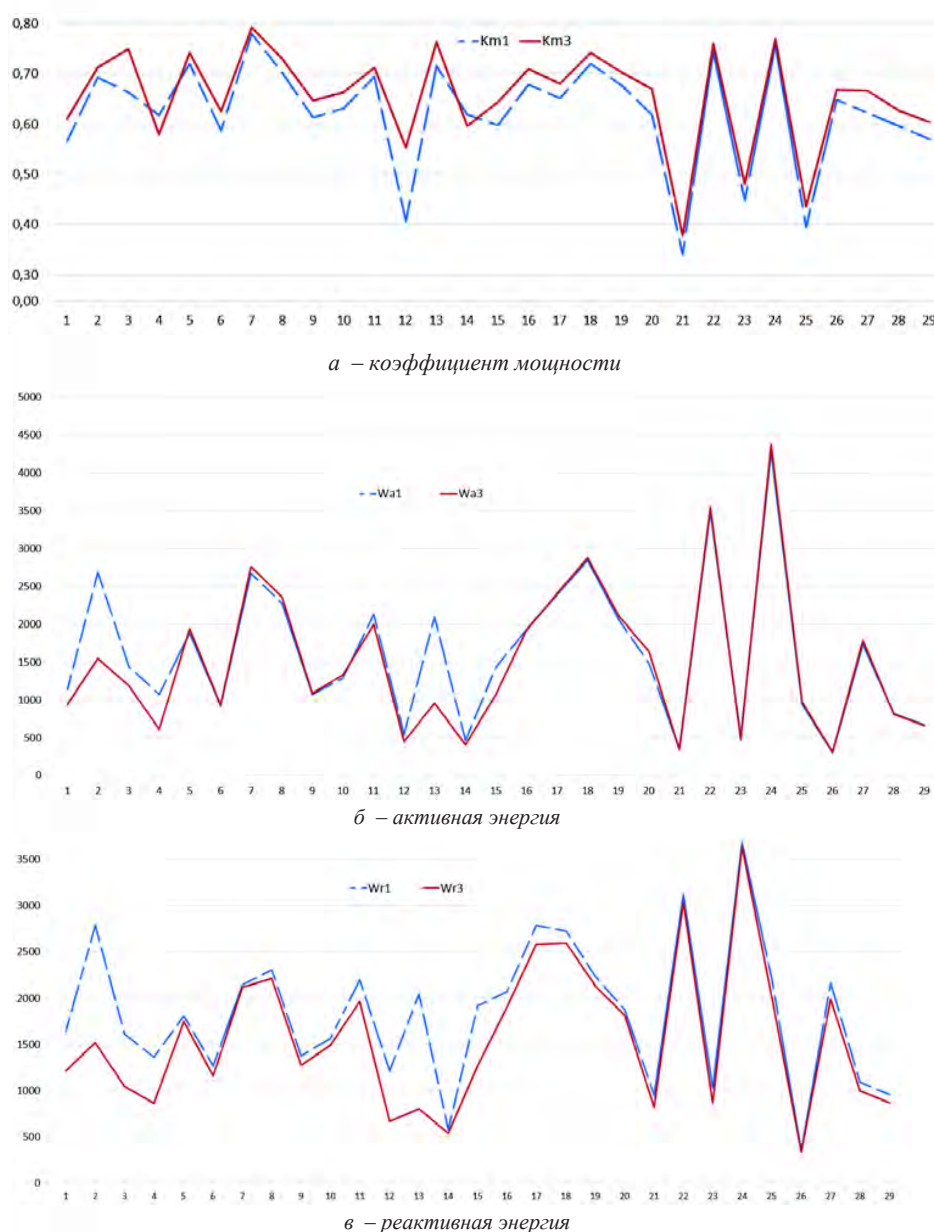


Рис. 5. Динамика изменения параметров секций ВЛ80Р-1791А (1) и ВЛ80Р-1791Б (3) (составлено авторами).

На рис. 2 предыдущего раздела приведена динамическая диаграмма исправного электровоза ВЛ80Р-1793/1854Б (табл. 3), на которой наблюдается практически полное совпадение графиков расхода электроэнергии первой и второй секций (кроме периода отключения одного ВИП в секции ВЛ80Р-1793А). При этом можно диагностировать кратковременное отключение одного ВИП. Отклонение характеристик секций друг от друга у других локомотивов

свидетельствует о наличии предотказов оборудования: у локомотива ВЛ80Р-1769/1776А (рис. 4) наблюдается разброс по коэффициенту мощности и реактивной мощности, что подтверждается низким коэффициентом корреляции между параметрами (0,959 и 0,924). Разброс по активной мощности низкий, что подтверждается высоким коэффициентом корреляции (0,998). Аналогичные закономерности и у электровоза ВЛ80Р-1791 (рис. 5).

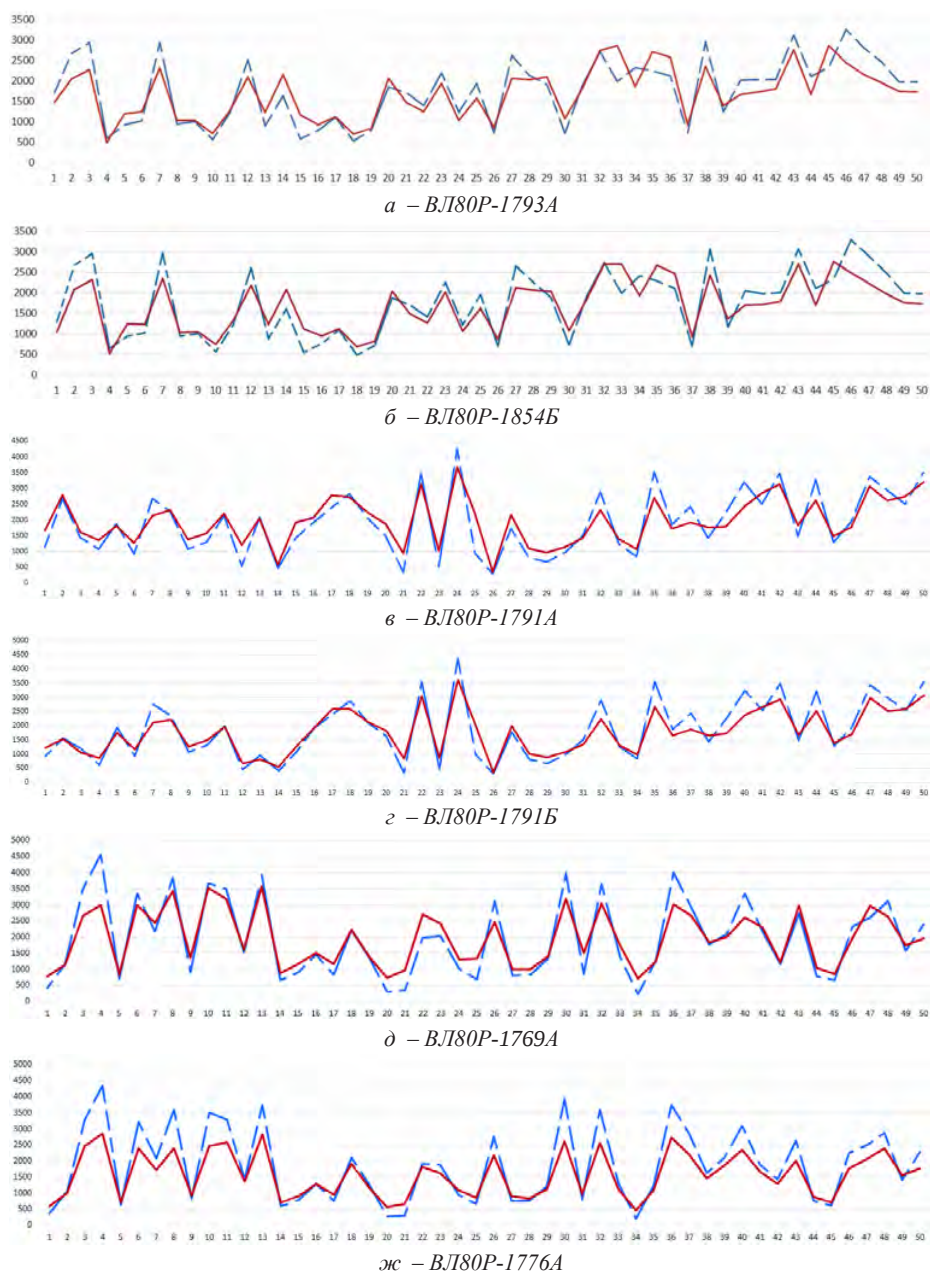


Рис. 6. Динамика изменения активной и реактивной мощности секции (пунктир – W_a , неразрывная линия – W_r) (составлено авторами).

Таким образом, по коэффициенту корреляции однотипных параметров двух секций $r < 0,99$ можно диагностировать наличие предотказов.

На рис. 6 приведено сравнение расхода активной W_a и реактивной W_r мощности двумя исправными секциями одного локомотива (рис. 6а и 6б) и секциями с предотказами (6в, 6г, 6д, 6ж). У исправного локомотива изменение активной W_a и реактивной W_r мощностей у обеих секций проис-

ходит синхронно. У других синхронность отсутствует. У всех секций есть смена соотношения мощностей: $W_a > W_r$, $W_a < W_r$, но у секций с предотказом это происходит не всегда синхронно.

4. ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ПО АКТИВНОЙ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Электровозы переменного тока с выпрямительно-инверторными преобразова-



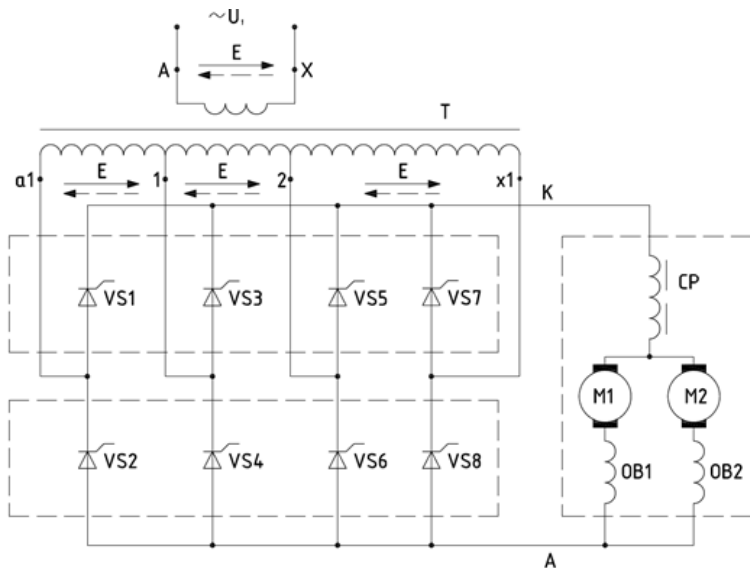
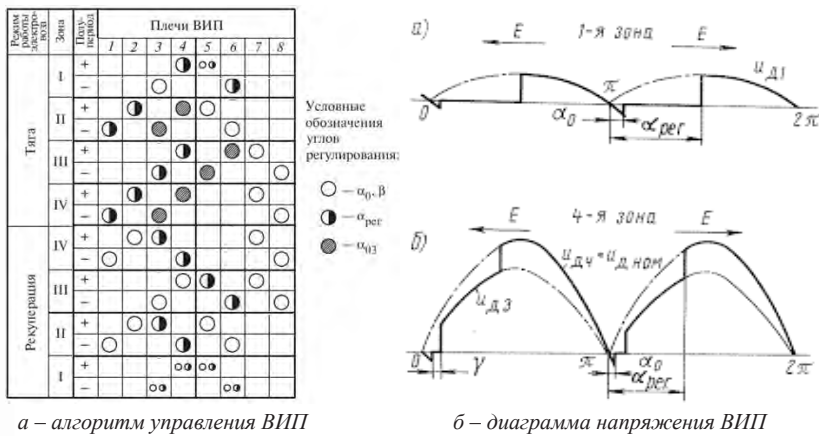


Рис. 7. Принципиальная силовая электрическая схема электровоза ВЛ80Р [20–24].



а – алгоритм управления ВИП

б – диаграмма напряжения ВИП

Рис. 8. Четырёхзонное управление ВИП электровоза ВЛ80Р [20–24].

телями имеют типовую электрическую схему (рис. 7) [18–24]: первичная обмотка силового трансформатора электровоза $U_1 = 25$ кВ питает две группы вторичных обмоток (на рис. 7 показана одна группа) напряжением 300 В, 300 В, 600 В, которое поступает на вход выпрямительно-инверторного преобразователя (ВИП, VS_1 – VS_8). К выходу ВИП подключены последовательно сглаживающий реактор СР и два параллельно работающих тяговых электродвигателя (ТЭД) постоянного тока с последовательным возбуждением М1, М2. Все ВИП у ВЛ80Р получают управляющие сигналы на открытие тиристоров с одного блока управления, которые реализуют алгоритм управления согласно рис. 8.

Наличие реактивной мощности обусловлено наличием индуктивных нагрузок в цепи электровоза [29] – это силовой трансформатор, сглаживающий реактор и сами тяговые двигатели (рис. 7). Дополнительно запаздывание тока от напряжения даёт тиристорное управление, позволяющее управлять выпрямленным напряжением только «слева» – на открытие (рис. 8) [24]. Поэтому у электровозов переменного тока с ВИП номинальный коэффициент мощности ниже и составляет $K_m = 0,84$ [19]. В выполненных исследованиях у исправного локомотива математическое ожидание $K_m = 0,69$ при $\sigma = 10$ и унимодалности 3 %. Максимальное значение не превышало $K_m \leq 0,83$.

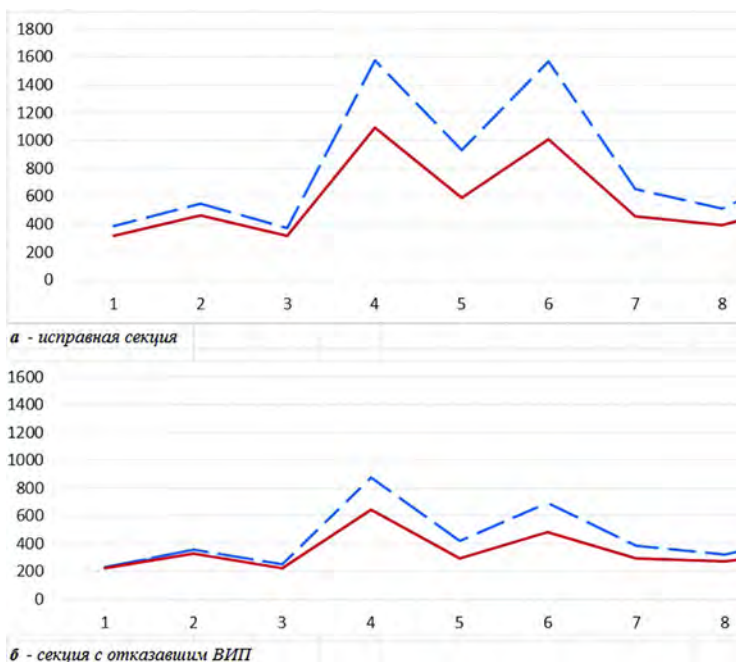


Рис. 9. Активная (синий пунктир, верхняя линия) и реактивная (неразрывная красная нижняя линия) составляющие энергии одного локомотива исправной секции и секции с отказавшим ВИП (составлено авторами).

Максимальный разброс могут давать тяговые электродвигатели, но допустимый разброс их характеристик не превышает 3 %. У сглаживающих реакторов, даже если есть незначительный разброс, то он вносит постоянную погрешность.

Таким образом, из устройства локомотива и его системы управления следует, что существенного разброса в потреблении активной и реактивной энергии у двух исправных секций одного локомотива теоретически быть не должно.

Причин для изменения соотношения активной и реактивной мощности может быть две: непропорциональное изменение активной мощности и/или непропорциональное изменение реактивной мощности.

Реактивная мощность локомотива имеет место, прежде всего, из-за тиристорной схемы управления, когда открытие ВИП (по сути — выпрямительного моста) происходит по импульсу управления $9^\circ < \alpha_{\text{РЕГ}} < 156^\circ$. Таким образом, отставание тока от напряжения всегда имеет место (рис. 8б).

Дополнительное отставание тока от напряжения обусловлено временем коммутации тиристоров γ (рис. 8б), длительность которого зависит от значения индук-

тивной нагрузки: сглаживающего реактора и двух тяговых электродвигателей. При одной и той же позиции регулирования непропорциональное изменение нагрузки может быть только за счёт изменения параметров тягового электродвигателя, в т.ч. из-за отключения. У ТЭД имеется постоянная индуктивность $L_{\text{ТЭД}}$, которая определяется его конструктивным исполнением, и переменная — за счёт явлений самоиндукции и взаимной индукции [29–31].

На рис. 3 приведён пример обнаружения аварийного отключения части силовой цепи секции электровоза, что приводит к существенному снижению энергопотребления секции: при отключении одного ТЭД потребление электроэнергии на тягу упадёт на 25 %, одного ВИП — на 50 %. Однако при исправной работе вспомогательных машин (мотор-вентиляторов и компрессора), потребляющих до 20 % от общего расхода электроэнергии, падение составит примерно 21 % и 42 %. В примере на рис. 3 падение составило 41–45 %. При этом соотношение активной и реактивной энергий не изменилось (рис. 9).

Главной причиной изменения тока одной секции (кроме отключения секции, ВИП или ТЭД) является боксование одной



или нескольких колёсных пар, которое при неизменном напряжении на тяговом электродвигателе $U_{\text{ТЭД}} = \text{const}$ сопровождается ростом электродвижущей силы E (э.д.с.) и падением тока ТЭД $I_{\text{ТЭД}}$ [30]:

$$U_{\text{ТЭД}} = I_{\text{ТЭД}} \cdot r_{\text{ТЭД}} + E = I_{\text{ТЭД}} \cdot r_{\text{ТЭД}} + C \cdot n_{\text{ТЭД}} \cdot \Phi_{\text{ТЭД}}, \quad (11)$$

где $r_{\text{ТЭД}}$ — сопротивление ТЭД;

$n_{\text{ТЭД}}$ — скорость вращения ТЭД;

$\Phi_{\text{ТЭД}}$ — магнитный поток ТЭД;

C — константа.

Повышенное боксование возникает у первого по ходу движения колёсно-моторного блока (КМБ), у КМБ с нарушением развески локомотива, у КМБ с меньшим диаметром бандажа колёсной пары $D_{\text{кп}}$, т.к. при равном крутящем моменте колёсной пары $M_{\text{кп}}$ сила тяги $F_{\text{т}}$ будет увеличенной:

$$M_{\text{кп}} = F_{\text{т}} \cdot D_{\text{кп}} / 2. \quad (12)$$

При боксовании ток падает, как следствие, падает потребление электроэнергии. При неизменном сопротивлении и индуктивности цепи активная и реактивная мощности должны уменьшиться пропорционально. Однако это не так: при боксовании у буксующего ТЭД растёт индуктивное сопротивление ωL :

$$\omega L = (\omega_1 L_1 \cdot \omega_2 L_2) / (\omega_1 L_1 + \omega_2 L_2), \quad (13)$$

где $\omega_1 L_1$, $\omega_2 L_2$ — индуктивное сопротивление первого и второго ТЭД;

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f;$$

f — частота изменения сигнала.

В пределе при $f \rightarrow \infty$ индуктивное сопротивление двух ТЭД возрастёт вдвое.

Таким образом, при боксовании происходит уменьшение потребляемой мощности с увеличением доли реактивной мощности и уменьшением коэффициента мощности секции локомотива. Таким образом, меньшее потребление мощности с уменьшением коэффициента мощности может быть признаком наличия повышенного боксования.

На рис. 1 показано, что при ослаблении тока могут возникать существенные разбросы токов ТЭД. У ТЭД с меньшим током будет меньше индуктивное сопротивление, что тоже должно отразиться на закономерностях активной и реактивной мощностей.

Таким образом, все основные виды неисправностей в силовых цепях электровоза с ВИП влияют на характер расхода активной и реактивной электроэнергии.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. С целью повышения эффективности мониторинга технического состояния электровозов переменного тока с выпрямительно-инверторными преобразователями предложен метод диагностирования их исправности в целом, по данным электронных счётчиков электроэнергии, передающих данные в онлайн-режиме.

2. Выполненные исследования показали, что динамические данные о расходе активной и реактивной электроэнергии, автоматически собираемые в онлайн-режиме с отечественных локомотивов переменного тока с выпрямительно-инверторными преобразователями (ВИП), могут быть использованы для диагностирования технического состояния локомотива в системе их мониторинга. Основа метода — сравнение динамики расхода активной и реактивной энергий двух секций одного локомотива по принципу функционального бенчмаркинга.

3. При мониторинге технического состояния локомотивов следует использовать понятие «предотказ», определяемое как работоспособное состояние локомотива при наличии внутренних скрытых дефектов или повреждений. Предотказ проявляется на расходе электроэнергии — вызвавший его дефект следует определять при заходе локомотива на ТОиР.

4. Наиболее чувствительным к предотказам является параметр «Достоверность отличий по коэффициенту мощности K_m », определяемый с использованием критерия Колмогорова—Смирнова. Наименее чувствительным к предотказам оказался параметр «Достоверность отличий по общей энергии».

5. В дальнейших исследованиях авторы намерены установить закономерности (функциональные связи) между проявлениями предотказных состояний по данным о расходе активной и реактивной составляющих электроэнергии и возникшими в цепях электровоза переменного тока с ВИП неисправностями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мониторинг технического состояния и режимов эксплуатации локомотивов. Теория и практика / Под общей редакцией И. К. Лакина. — М.: ООО «Локомотивные Технологии», 2015. — 212 с.

2. Hedlund, E. H., Roddy, N. E., Gibson, D. R., Bliley, R. G., Pander, J. E., Puri, A., O'Camb, T. E., Lovelace, J. H., Steven, L. Apparatus and Method for Performance and Fault Data Analysis. US Patent 6,651,034 B1, 2003; US Patent 7,013,239 B2, 2006. Assignee: General Electric Company.

3. Лакин И. И. Мониторинг технического состояния локомотивов по данным бортовых аппаратно-программных комплексов / Дис... канд. техн. наук. — М.: МИИТ, 2016. — 211 с. [Электронный ресурс]: https://www.mii.ru/content/%D0%94%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F.pdf?id_wm=756728. Доступ 13.05.2020.

4. Аболмасов А. А. Управление техническим состоянием тягового подвижного состава в условиях сервисного обслуживания / Дис... канд. техн. наук. — М.: МИИТ, 2017. — 180 с. [Электронный ресурс]: <https://docplayer.ru/49152812-Abolmasov-aleksey-aleksandrovich-upravlenie-tehnicheskim-sostoyaniem-tyagovogo-podvizhnogo-sostava-v-usloviyah-servisnogo-obsluzhivaniya.html>. Доступ 13.05.2020.

5. Пустовой В. Н., Лянгасов С. Л., Лакин И. К. Мониторинг нарушений режимов эксплуатации локомотивов по данным МСУ // Транспортная инфраструктура Сибирского региона: материалы 6 международной научно-практической конференции. — Иркутск, 2015. — С. 354–358.

6. Пустовой И. В. Разработка информационно-динамической модели управления сервисным техническим обслуживанием / Дис... канд. техн. наук — Омск: ОмГУПС, 2019. — 181 с. [Электронный ресурс]: https://www.usurt.ru/uploads/main/065/5b97add2b36f8/%D0%94%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D0%9F%D1%83%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%98%D0%BB%D1%8C%D0%B8%D0%92%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87%D0%B0.pdf. Доступ 13.05.2020.

7. Официальный сайт АО «Трансмашхолдинг». Раздел «Предприятия». [Электронный ресурс]: https://www.tmholding.ru/about_us/enterprises/. Доступ 13.05.2020.

8. Официальный сайт ООО «Уральские локомотивы». Раздел «Продукция». [Электронный ресурс]: <http://ulkm.ru/produkciya/>. Доступ 13.05.2020.

9. Головин В. И., Наговицын В. С. АСУ с функцией безопасности для электровоза 2ЭС6 / Сайт «СЦБИСТ». 2018, № 4. [Электронный ресурс]: <http://scbist.com/>. Доступ 13.05.2020.

10. Семченко В. В., Лакин И. К., Чмилёв И. Е. Эксплуатация и техническое обслуживание электронных систем управления электровозов переменного тока. — Красноярск: Издательство дорожного центра внедрения Красноярской железной дороги, 2010. — 72 с.

11. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения. [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/1200009481>. Доступ 13.05.2020.

12. ГОСТ 27.002-2015. Надёжность в технике (ССНТ). Термины и определения. [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/1200136419>. Доступ 13.05.2020.

13. Липа К. В., Гриненко В. И., Лянгасов С. Л., Лакин И. К., Аболмасов А. А. и др. Способ технического диагностирования оборудования локомотива и устройство для его осуществления. Патент на изобретение от 21.07.2017 г. № 2626168. [Электронный ресурс]: https://yandex.ru/patents/doc/RU2626168C2_20170721. Доступ 13.05.2020.

14. Липа К. В., Гриненко В. И., Лянгасов С. Л., Лакин И. К., Аболмасов А. А. и др. Способ управления обслуживанием и ремонтом железнодорожного транспорта и система для его осуществления. Патент на изобретение от 24.10.2013 г. № 2569216. [Электронный ресурс]: https://yandex.ru/patents/doc/RU2569216C2_20151120. Доступ 13.05.2020.

15. Официальный сайт НИИТКД. Раздел «Локомотивное хозяйство». [Электронный ресурс]: <http://niitkd.com/locomotivnoe/ekspluatatsiya/apparatno-programmnyy-kompleks-bort-detail>. Доступ 13.05.2020.

16. Овчаренко С. М. Повышение эффективности системы диагностирования тепловозов / Дис... док. техн. наук. — Омск: ОмГУПС, 2007. — 366 с.

17. Официальный сайт компании «АВП Технологии». Раздел «Мониторинг». [Электронный ресурс]: <https://avpt.ru/projects/monitoring-i-kontrol/>. Доступ 13.05.2020.

18. Тихменев Б. Н., Трахтман Л. М. Подвижной состав электрифицированных железных дорог. Теория работы электрооборудования. Электрические схемы и аппараты. — М.: Транспорт, 1980. — 471 с.

19. Капустин Л. Д., Копанев А. С., Лозановский А. Л. Особенности устройства и эксплуатации электровоза ВЛ80Р. — М.: Транспорт, 1979. — 175 с.

20. Горбань В. Н., Донской А. Л., Шабалин Н. Г. Электронное оборудование электровоза ВЛ80: Ремонт и техническое обслуживание. — М.: Транспорт, 1984. — 184 с.

21. Электровоз ВЛ80Р. Руководство по эксплуатации — М.: Транспорт, 1982. — 541 с.

22. Электровоз ВЛ85. Руководство по эксплуатации. — М.: Транспорт, 1986. — 572 с.

23. Электровоз магистральный 2ЭС5К (3ЭС5К). Руководство по эксплуатации. — Кн. 1. Электрические схемы. — Новочеркасск, 2004. — 248 с.

24. Капустин Л. Д., Копанев А. С., Лозановский А. Л. Надёжность и эффективность электровозов ВЛ80Р в эксплуатации. — М.: Транспорт, 1986. — 240 с.

25. Семченко В. В., Власьевский С. В. Устройство для повышения коэффициента мощности выпрямительно-инверторного преобразователя однофазного переменного тока. Патент на полезную модель № 192613 от 24.09.2019. [Электронный ресурс]: https://yandex.ru/patents/doc/RU192613U1_20190924. Доступ 13.05.2020.

26. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020613912 Российская Федерация. Программа анализа энергоэффективности электровозов переменного тока с выпрямительно-инверторными преобразователями / Семченко В. В., Лакин И. К. и др.; правообладатель Акционерное общество «Дорожный центр внедрения Красноярской железной дороги» № 2019665780 заявл. 05.12.2019; опубл. 24.03.2020. — 1 с.

27. Осетрова И. С., Осипов Н. А. Microsoft Visual Basic for Application. — СПб.: НИУ ИТМО, 2013. — 120 с.

28. Вентцель Е. С. Теория вероятности: Учебник. — 12-е изд., стер. — М.: Юстиция, 2018. — 658 с.

29. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. — М.: Высшая школа, 1996. — 638 с.

30. Динамическая индуктивность. [Электронный ресурс]: <http://www.transportine.ru/inets-455-2.html>. Доступ 13.05.2020.

31. Захарченко Д. Д., Ротанов Н. А. Тяговые электрические машины. — М.: Транспорт, 1991. — 343 с. ●





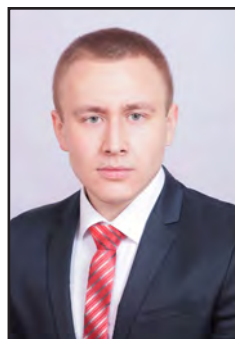
Monitoring the Technical Condition of AC Electric Locomotives using Traction Energy Consumption Rates



Alexander P. SEMENOV



Victor V. SEMCHENKO



Igor Yu. KHROMOV

*Semenov, Alexander P., JSC Research Institute of Railway Technology, Control and Diagnostics, Omsk, Russia.
Semchenko, Victor V., JSC Railroad Centre of Technology Implementation of Krasnoyarsk Railway, Krasnoyarsk, Russia.
Khrmov, Igor Yu., LLC2050-Integrator, Moscow, Russia*.*

ABSTRACT

Currently, the methods of monitoring the technical condition of locomotives using data of on-board microprocessor-based control systems are widely used. This monitoring of Russia has become an operating technology of the locomotive maintenance and repair system.

The main problem of monitoring is the limited set of sensors in locomotive circuits. Increased number of sensors leads to a decrease in reliability and to an increase in the cost of a locomotive and of its life cycle, while allowing to achieve better quality of diagnostic information.

Besides, it is advisable to have integrated indicators of the technical condition of a locomotive. The article presents a computer software product for analysing the technical condition of a locomotive based on dynamic data on consumption of traction active power and generation of reactive power. The software was developed by using algorithmic language Visual BASIC for Applications, embedded in MS Excel, using probabilistic and statistical methods of analysis.

The method for diagnosing the technical condition of a locomotive within the monitoring system is based on a comparison of dynamics of consumption of active and generation of reactive power by two sections of the same locomotive according to the principle of functional benchmarking. For monitoring the technical condition of locomotives, the term «pre-failure» is suggested, which is defined as the operable condition of a locomotive while there are internal hidden defects or damage. Pre-failure manifests itself in power consumption. To analyse the technical condition of AC electric locomotives in terms of electricity consumption, the initial data must have a high degree of unimodality, which is determined by uniformity of operating conditions.

The resulting data obtained following the analysis of the technical condition of a locomotive based on the dynamic data on consumption of tractive active energy and generation of reactive power can be used to determine a defect that causes a change in consumption of electricity at the moment when the locomotive enters technical maintenance and repair depot.

Keywords: railway, locomotive, technical condition monitoring, train traction, electric locomotive, microprocessor control systems.

*Information about the authors:

Semenov, Alexander P. – Ph.D. (Eng), General Director of JSC Research Institute of Technology, Control and Diagnostics of Railway Transport, Omsk, Russia, corp@niitkd.ru.

Semchenko, Victor V. – Ph.D. (Eng), General Director of JSC Railroad Centre of Technology Implementation of Krasnoyarsk Railway, Krasnoyarsk, Russia, office@dcv.ru.

Khrmov, Igor Yu. – Business Analyst of LLC2050-Integrator, Moscow, Russia, KhrmovIYu@yandex.ru.

Article received 13.05.2020, accepted 23.10.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 62.

1. Experience in monitoring technical condition based on MPCS data

At present, *methods* for diagnosing the technical condition of locomotives based on the data of on-board microprocessor-based control systems (MPCS) are being widely developed [1]. The greatest experience has been accumulated by General Electric Company, whose situational centre of the diesel locomotive manufacturing facility in Erie (USA) monitors online the technical condition of more than 15 thousand sections of diesel locomotives based on data transmitted automatically from on-board locomotive MPCS using the Bright Starsystem [1; 2]. Siemens, Alstom, Bombardier companies have similar experience [1].

Interesting expertise has been accumulated by the Russian domestic railways sector [1; 3; 4]. For example, LokoTech group of companies has created diagnostics groups in locomotive maintenance depots (LMD), which, when a locomotive enters the depot, read information from on-board MPCSSs using portable flash drives and decode it on stationary computers using special software at automated workplaces AWP MPCS. The information is used both for monitoring the operating modes of locomotives [5] and for planning the volume of maintenance and repairs works when a locomotive enters LMD [6]. Similarly, NEVZ electric locomotive plant (Novocherkassk), KZ (Kolomensky Zavod) and BMZ (Bryansk engineering plant) diesel locomotive plants of TransMashHolding Group [7] monitor locomotives under the warranty. A similar experience has been accumulated by Ural Locomotives Company [8] together with NPO [Research and Production Society] SAUT and Transinfo-Project [9].

Extensive experience in technical maintenance and repair (TMR) of electronic and microprocessor equipment using data from on-board MPCS has been accumulated in the Railroad Centre of Technology Implementation of Krasnoyarsk Railway, where a unique TMR model was developed [10], which was awarded by JSC Russian Railways in 2019 as the best system in the field of locomotive reliability management.

All existing monitoring systems identify failures that have occurred, localize the possible place of their occurrence [11; 12]. But pre-failure technical conditions are also of greater interest for conducting TMR of locomotives.

According to GOST [State Standard] 27.002-2015 [12], they are defined as «The state of an object characterized by an increased risk of failure». In fact, this is one of the types of forecasting the residual resource according to GOST 20911-89 [11] (or the resource of the limiting state according to GOST 57445-2017). For convenience of event registration, the authors additionally suggest the term «pre-failure» as the operable state of the examined object while there is a defect or damage (defined according to GOST 20911-89).

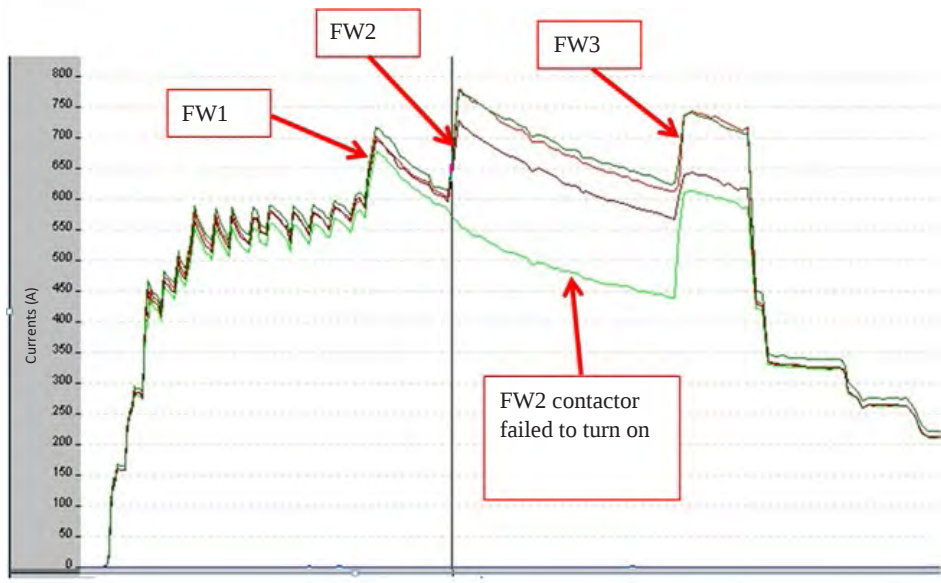
For example, when the insulation resistance decreases, a defect occurs that increases the risk of failure, but the locomotive remains operational. Pic. 1 shows the graphs of changes in the currents of traction electric motors (TEM) of an electric locomotive of VL80S series according to the data of automatic driving system (uniform system of train automatic driving, USTAD/USAVP) [3]. When the second phase of field-weakening (FW2) was turned on, the contactor of a TEM did not work, as a result, current of a TEM did not increase that resulted in a failure. In addition, at the second (FW2) and third (FW3) phases of field-weakening, an unacceptably large spread of TEM currents was observed, so it was a pre-failure. The locomotive is operational (no observations), but repair of FW2 field-weakening contactor and adjustment of field-weakening resistors to equalize TEM currents in parallel circuits are required.

When examining, analytical and logical (parametric) methods are often used which can indicate that parameters go beyond tolerances or the corresponding trend, that there is a violation of the logic of operation. At the same time, intelligent mathematical methods of diagnostics are developing, mainly based on statistics (data mining) [2; 16]. For example, a method is used to identify pre-failure conditions in the single-type locomotive equipment (TEM, cylinder covers, etc.) according to the correlation coefficient [13]. Monitoring data are used in the technological process of TMR of locomotives [14].

Thus, monitoring the technical condition of locomotives according to data of on-board MPCS is currently an operating technology of the locomotive TMR system.

The main problem of monitoring based on MPCS data is the limited set of sensors in locomotive circuits. Their growth in their





Pic. 1. An example of detection of a failure and a pre-failure according to MPCS data [3].

Table 1

Energy consumption data from USTAD report

Series	No.	Section	Date and time of dispatch	No. of a meter	Active energy of traction current, kW·h	Active energy of recuperation current, kW·h	Reactive energy of traction current, kVAr·h	Reactive energy of recuperation current, kVAr·h
VL80R	1769	A	31.08.2019 11:40:02	0	4132097	4751613	3951915	4856641
VL80R	1769	A	31.08.2019 11:45:02	0	4132100	4751613	3951925	4856641
VL80R	1769	A	31.08.2019 11:50:02	0	4132103	4751613	3951936	4856641
VL80R	1769	A	31.08.2019 11:55:02	0	4132105	4751613	3951945	4856641
VL80R	1769	A	31.08.2019 12:00:02	0	4132108	4751613	3951956	4856641
VL80R	1769	A	31.08.2019 12:05:02	0	4132110	4751613	3951969	4856641
VL80R	1769	A	31.08.2019 12:10:02	0	4132217	4751613	3952062	4856641

number increases the diagnostic information content but decreases reliability and increases the cost of the locomotive and its life cycle. It is desirable to have integrated indicators of the technical condition of the locomotive.

Along with monitoring the technical condition of locomotives and their operating modes, remote methods of monitoring traction fuel and electricity consumption are actively being developed, which creates additional

prerequisites for monitoring the technical condition of locomotives. For example, the fuel accounting system «Bort» for diesel locomotives developed by Research Institute of Railway Technology, Control and Diagnostics [15] makes it possible to monitor the technical condition of the locomotive using both logical analysis of the controlled technical parameters (the number of revolutions of the diesel engine shaft, power at each position of the driver's

Table 2

Calculation of energy consumption according to meter readings

Date and hour of the event	Calculated energy consumption, kVAr • h					
	VL80R No. 1793A			VL80R No. 1854B		
	W _{a1}	W _{r1}	Km ₁	W _{a3}	W _{r3}	Km ₃
19.07.2020 11:00	1694,0	1466,0	0,756	1288,0	1048,0	0,775
19.07.2020 15:00	2660,0	2041,0	0,793	2666,0	2067,0	0,790
19.07.2020 19:00	2939,0	2275,0	0,790	2943,0	2315,0	0,786
19.07.2020 23:00	588,0	488,0	0,769	634,0	523,0	0,771
20.07.2020 00:00	922,0	1201,0	0,608	939,0	1238,0	0,604
20.07.2020 04:00	1014,0	1237,0	0,634	1015,0	1230,0	0,636
20.07.2020 08:00	2928,0	2308,0	0,785	2961,0	2346,0	0,784

controller, pressure, temperature, etc.), and fuel consumption rates: if, at a diesel fuel consumption standard rate of 205 g/kW • h, a consumption of 250 g/kW • h is observed, then there is a high probability of a pre-failure of a locomotive’s diesel generator set [16].

At present, electric locomotives are using modern electronic electricity meters of SEPPT type with ASIM radio online transmission to a stationary system produced by AVP Technology company [17]. In this case, the accuracy class of SEPPT in the traction mode for active energy is of 0,2 and for reactive power is of 0,5. The meter readings are transmitted to the information systems of JSC Russian Railways (approximately every four minutes). The data is reliable and available, for example, in the form of USTAD reports (Table 1).

The costs of creating an automated electricity metering system, according to the plans of JSC Russian Railways, should be recompensed through further energy savings. At the same time, an additional opportunity appears for a comprehensive assessment of the technical condition of locomotives. The Railroad Centre of Technology Implementation of Krasnoyarsk Railway of Krasnoyarsk railway has made the analysis of possibilities of monitoring the technical condition of electric locomotives by dynamics of traction electricity consumption.

Thus, automated energy metering systems provide additional opportunities for monitoring the technical condition of locomotives.

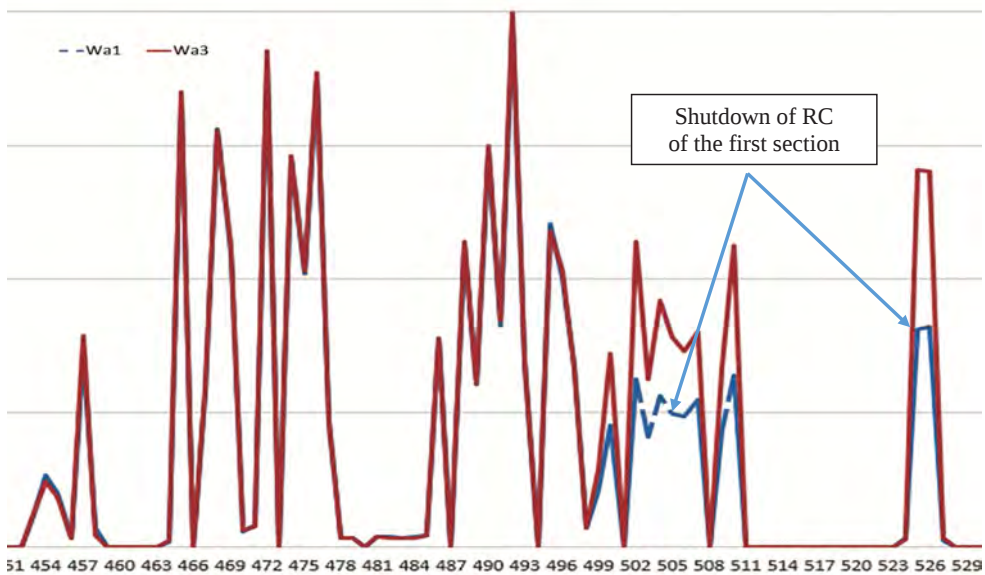
The *objective* of the study is to increase efficiency of monitoring the technical condition of AC electric locomotives with reversible converters by diagnosing their total serviceability based on the data from electronic electricity meters transmitting data online.

2. Research methodology

Most of domestic AC electric locomotives manufactured by the Novocherkassk Electric Locomotive Plant (TransMashHolding Group) have a DC drive controlled through reversible (rectifying and inverting) converters (RC) [18; 19], which allow smooth control of traction and recuperation modes. Electric locomotives with RC (VL80R, VL85, EP1, ES5K) are more reliable than most other locomotives, while possessing effective traction characteristics [20], therefore they are operated in harsh conditions of the Eastern range of JSC Russian Railways [21–23]. The low power factor associated with a large volume of reactive energy [24; 25] should be noted as a significant drawback of their power circuit.

The Railroad Centre of Technology Implementation of Krasnoyarsk Railway of Krasnoyarsk railway has developed a methodology and corresponding software for monitoring electric locomotives with RC [26]: based on dynamic data on consumption of traction active and reactive energy (Table 1), the technical condition of the locomotive is analysed. The software was developed with the algorithmic language Visual BASIC for Applications (VBA), embedded in MS Excel [27], using probabilistic and statistical methods of analysis [28]. To avoid the influence of operating conditions of the locomotive on the results of the analysis of effectiveness of modernization, it is proposed to upgrade one section of the electric locomotive, comparing the parameters of its operation with the second non-modernized section operating in exactly the same conditions (mileage, train weight, profile, climatic and weather conditions, etc.). In addition to efficiency of modernization, the technical





Pic. 2. Dynamics of change in consumption of active energy by two sections of electric locomotives (compiled by the authors).

condition of the sections can also be monitored by comparing them with each other.

At the start of the program, the readings of the electronic meters of each section (Table 1) are converted into data on energy consumption (Table 2) according to the specified range and the summation interval.

The consumption of active and reactive energy is calculated based on the difference between the meter readings of each section of the electric locomotive for adjacent periods (Table 1). Apparent electricity W_i and power factor K_{M_i} for period i are calculated based on active W_{a_i} and reactive W_{r_i} energy:

$$W_i = \sqrt{W_{a_i}^2 + W_{r_i}^2}; \quad (1)$$

$$K_{M_i} = \frac{W_{a_i}}{\sqrt{W_{a_i}^2 + W_{r_i}^2}} = \frac{W_{a_i}}{W_i}. \quad (2)$$

To eliminate errors due to asynchronous data flow from each section and to increase the measurement accuracy, the data W_i coming from the locomotive meters are grouped by summing them:

$$W = \sum_{i=1}^n W_i, \quad (3)$$

where n – number of received data for the selected time period, a divisible of an hour.

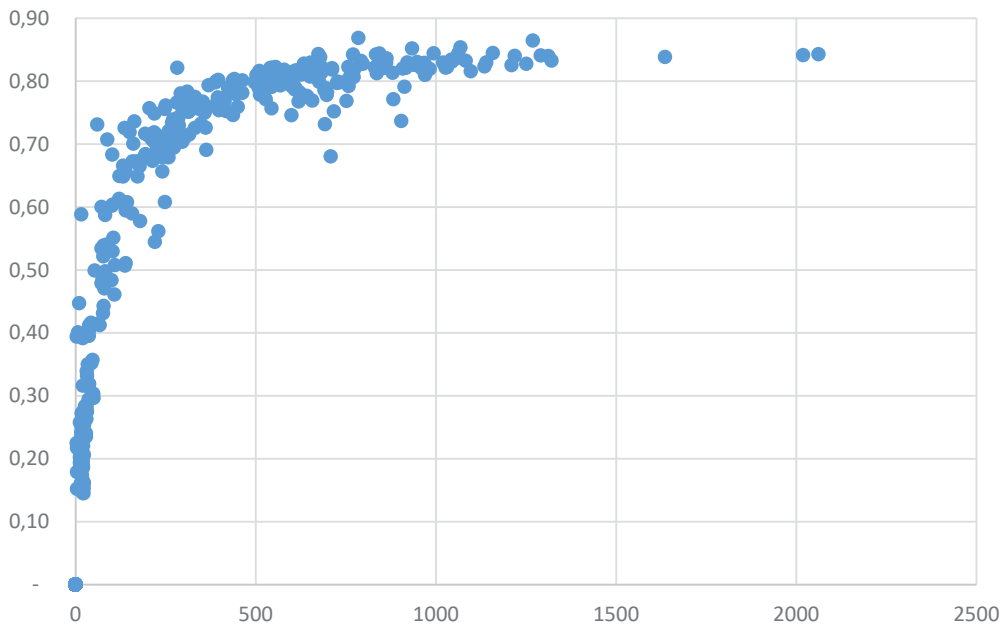
As a result, dynamic graphs of energy consumption are built. Pic. 2 shows the data for VL80R-1793A/1854B electric locomotive, according to which the shutdown of a RC of the second section was recorded with subsequent

restoration of its operability: according to dynamic diagrams, it is possible to evaluate the technical condition of the locomotive online.

Pic. 3 shows the dependence of the power factor K_m on the current power W (Table 2) as the power consumption per hour. When power consumption is less than 200 kW • h (in fact, the power calculated from the power consumption), the power factor value has the character of white noise (due to the commensurate influence of auxiliary machines on the power consumption). Therefore, for analysis, data on low power (Pic. 2) is proposed not to be taken into consideration: the program converts the original table (Table 2) into a similar one, but with filtered data.

The program sequentially for both sections calculates and visualizes the mathematical expectation (MA) of parameters, their standard deviation σA , the coefficient of variation kVA, the minimum and maximum values of the parameter found in the sample [28].

An important property of a statistical sample, which confirms reliability of the initial data and correctness of the study, is unimodality. According to the law of large numbers [28], any distribution tends to normal, if there are no dominant influences. If two independent processes are involved in the sample, then distribution will be bimodal and even multimodal, for example, if locomotives of different series, different polygons, in different seasons, etc. are used in the same



Pic. 3. Point diagram of the dependence of power factor on consumed energy (compiled by the authors).

sample. As a result, conclusions may be drawn based on incorrect data. It is proposed to check unimodality of data through probability of correspondence of the data distribution P to one of the distribution laws of a random variable using the Kolmogorov–Smirnov test [28] with filtering the initial data according to three-sigma rule: initial data outside the range $M_A \pm 3 \cdot \sigma_A$ is rejected.

The program, according to the constant set in it, divides the total range from the minimum to the maximum value into 12 subranges, as optimal according to the results of preliminary studies. Then the number of data got in each range i is calculated. The difference λ between the intensities of getting into the range is calculated: theoretical R_{Ti} and actual R_{fi} ones.

The maximum detected difference is taken:

$$R_{Ti} = V_{Ti} / V_T; \quad (4)$$

$$R_{fi} = V_i / V; \quad (5)$$

$$\lambda = \text{Max}(|R_{Ti} - R_{fi}|), \quad (6)$$

where V is volume of statistical sample;

V_T is volume of theoretical sample;

V_{Ti} – volume of calculated cases of getting

in the range i :

$$V_{Ti} = V_T \cdot (1 / (\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi})) \cdot \int_{d1}^{d2} e^{-\frac{(x_i - M)^2}{2 \cdot \sigma^2}}. \quad (7)$$

Note: integration action is implemented as summation of the areas of rectangles with ranges $(x_2 - k_1)$.

Kolmogorov–Smirnov criterion D for normal distribution of a random variable is calculated as:

$$D = \lambda \cdot (\sqrt{V} - 0,001 + 0,85 / \sqrt{V}). \quad (8)$$

The probability of compliance with the distribution law P and the probability of reliable differences in the characteristics of two sections are determined from the table by the value D .

The calculation of λ is made according to the intensity of the first R_{1i} and second R_{2i} sections getting in the range i :

$$\lambda = \text{Max}(|R_{1i} - R_{2i}|). \quad (9)$$

When comparing two sections the calculation of D is made according to the formula:

$$D = \lambda \cdot \sqrt{V} + 1 / (6 \cdot \sqrt{V}). \quad (10)$$

Testing the program and calculating test cases made it possible to automate the calculations as much as possible, while minimizing the probability of errors in calculations. Thus, a method for studying the energy efficiency and technical condition of domestic AC electric locomotives with RC has been developed, which has the following advantages:

- linking to the existing automated information sources of JSC Russian Railways on traction electricity consumption.
- automatic calculation of statistical indicators for a large amount of initial data (up to 2800 days).
- visualization of calculation results.



Table 3

General results of the analysis

Parameters 1793A/1854B	Pairs of sections of a locomotive under study				
	1793A/1854B	1769A/1776A	1764A/1764B	1764A/1784B	1791A/1791B
Difference W_a , %	-0,4 %	-7,1 %	6,9 %	8,6 %	0,2 %
Difference W_r , %	-0,2 %	-16,3 %	-4,4 %	-10,0 %	-6,9 %
Difference W_{Σ} , %	-0,3 %	-11,4	1,0 %	-0,9 %	-3,5 %
Difference K_m , %	-0,1 %	4,9 %	5,8 %	9,6 %	3,8 %
Unimodality maximum, %	59 %	88 %	51 %	61 %	45 %
Validity of differences by W_a , %	0,001 %	5 %	2 %	6 %	0,001 %
Validity of differences by W_r , %	0,55 %	81 %	93 %	84 %	52 %
Validity of differences by W_{Σ} , %	0,001 %	41 %	0,001 %	0,3 %	0,7 %
Validity of differences by K_m , %	20,8 %	99,7 %	99 %	97 %	95,8 %
Factor of parameters' correlation					
W_{a1}/W_{a2}	0,984	0,998	0,967	0,987	0,992
W_{r1}/W_{r2}	0,986	0,959	0,951	0,982	0,987
K_{m1}/K_{m2}	0,985	0,924	0,981	0,985	0,989
W_{a1}/W_{r1}	0,937	0,941	0,915	0,934	0,949
W_{a2}/W_{r2}	0,947	0,986	0,934	0,954	0,962

Note: the sign in the «difference» lines regarding W_a , W_r , W_{Σ} , K_m shows the direction of differences of the second section in relation to the first one.

• simple and visual adaptation of the program in VBA environment [26] for the peculiarities of the tasks being solved.

Thus, the developed methodology and software make it possible to perform a scientific and technical analysis of the possibility of monitoring the technical condition of AC electric locomotives with RC based on data on consumption of traction active and reactive energy.

3. Results of monitoring of the technical condition of sections

The Railroad Centre of Technology Implementation of Krasnoyarsk Railway of Krasnoyarsk railway according to USTAD reports [17] using the developed methodology and software [26], conducted the analysis of energy consumption by electric locomotives of VL80R series [21] (including three-section version): 1793A/1854B, 1769A/1776A, 1764A/1764B, 1764A/1784B, 1791A/1791B. Table 3 shows the main research results based on data for four months of 2019 (on average 36 thousand rows (see Table 1) of the initial data).

The main results of the analysis are as follows:

1. The initial data has a high degree of unimodality, which is determined by uniformity

of operating conditions (profile, train weight, weather conditions, etc.) at the Eastern range of JSC Russian Railways.

2. Only one of five locomotives (VL80R-1793A/1854B) can be considered technically sound (without signs of pre-failures) since the spread of electricity consumption does not exceed 0,4 %. The rest of the locomotives obviously have problems with their technical condition; there are pre-failures.

3. «Reliability of differences in power factor K_m », determined by Kolmogorov–Smirnov criterion turned out to be the most sensitive parameter. Even for VL80R-1793A/1854B, with a minimum scattering of parameter values, «Significance of differences in power factor K_m » was 20,8 %. For the rest of the locomotives, it was above 95 %.

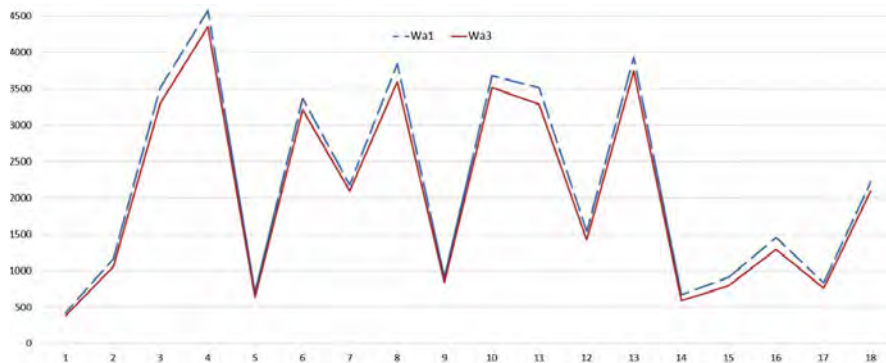
4. The parameter «Differences in total energy W_{Σ} » turned out to be the least sensitive parameter which is caused by multi-directional character of differences in active and reactive energy.

5. The correlation factor reflects the visually obvious difference in the dynamic graphs of the parameters of two sections.

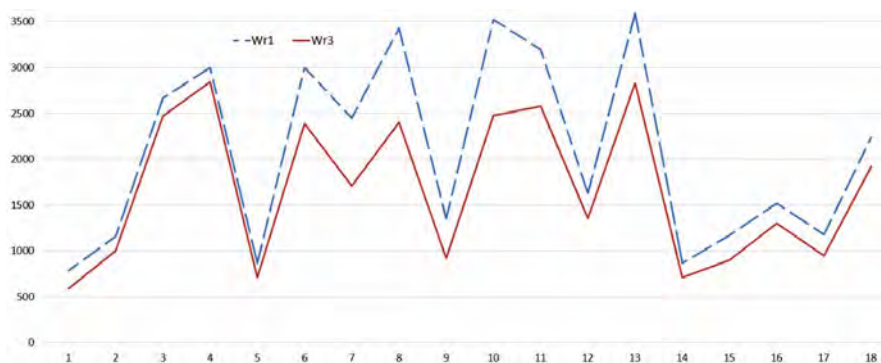
Thus, monitoring the technical condition of AC electric locomotives is possible based on data on consumption of active energy and generation of reactive energy.



a – power factor



b – active energy



c – reactive energy

Pic. 4. Dynamics of changes in parameters of sections VL80R-1769A (1) and VL80R-1776A (3) (compiled by the authors).

Pic. 2 of the previous section shows a dynamic diagram of a serviceable electric locomotive VL80R-1793/1854B (Table 3): there is an almost complete coincidence of the graphs of electricity consumption of the first and second sections (except for the period of shutdown of one RC in section VL80R1793A). In this case, it is possible to diagnose a short-term disconnection of one RC. The deviation of the characteristics of the sections from each other regarding other locomotives indicates the presence of equipment pre-failures: for

VL80R-1769/1776A locomotive (Pic. 4), there is a scatter in the power factor and reactive power, which is confirmed by the low correlation factor between the parameters (0,959 and 0,924). The spread in active power rates is low, which is confirmed by a high correlation factor (0,998). Similar patterns are observed for VL80R-1791 electric locomotive (Pic. 5).

Thus, the presence of pre-failures can be diagnosed by the correlation factor of the same-type parameters of two sections $r < 0,99$.





a – power factor



b – active energy



c – reactive energy

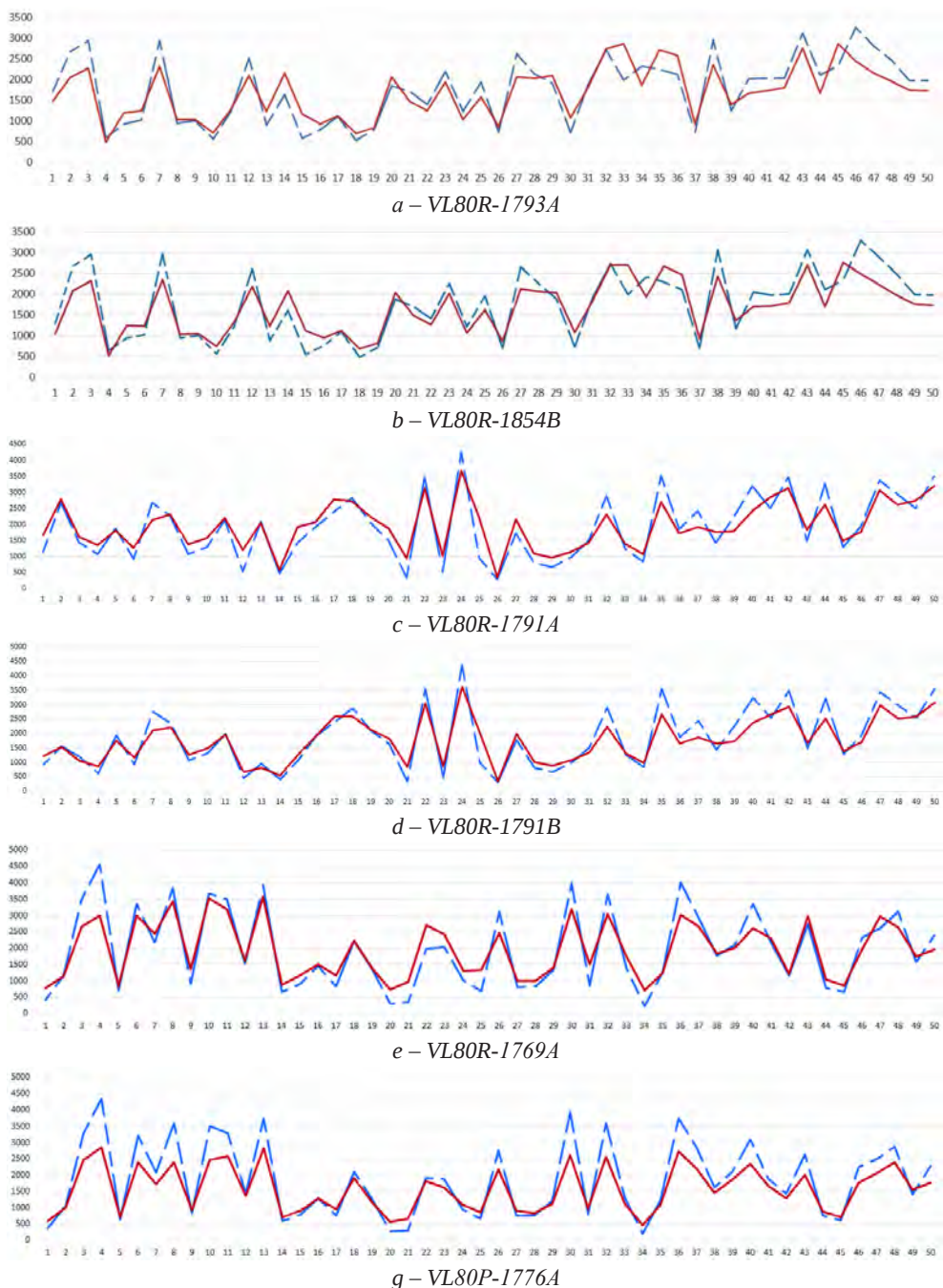
Pic. 5. Dynamics of changes in parameters of sections VL80R-1791A (1) and VL80R-1791B (3) (compiled by the authors).

Pic. 6 shows a comparison of consumption of active W_a and reactive W_r power by two serviceable sections of one locomotive (Pics. 6a and 6b) and by the sections with pre-failures (6c, 6d, 6e, 6f). For a serviceable locomotive, the change in active W_a and reactive W_r power in both sections occurs synchronously. Others lack synchronicity. All sections have a change in the power ratio: $W_a > W_r$, $W_a < W_r$, but for sections with pre-

failure this does not always happen synchronously.

4. Diagnostics by active and reactive power

AC electric locomotives with reversible converters have a typical electrical circuit (Pic. 7) [18–24]: the primary winding of the power transformer of the electric locomotive $U_1 = 25$ kV feeds two groups of secondary windings (only one group is shown in Pic. 7) with a voltage of 300 V, 300 V, 600 V,



Pic. 6. Dynamics of changes in active and reactive power of the section (blue dotted line – W_a , red continuous line – W_r) (compiled by the authors).

which is fed to the input of the RC (VS_1 – VS_8). A smoothing reactor SR and two parallel operating DC traction electric motors with sequential excitation M1, M2 are connected to the output of RC. All RC at VL80R receive control signals for opening thyristors from a single control unit, implementing control algorithm according to Pic. 8.

The presence of reactive power is due to the presence of inductive loads in the electric locomotive circuit [29]: it is a power transformer, a smoothing reactor and the traction motors themselves (Pic. 7). Additionally, a thyristor control, which allows controlling the rectified voltage only «on the left» – for opening, produces the current delay from the voltage



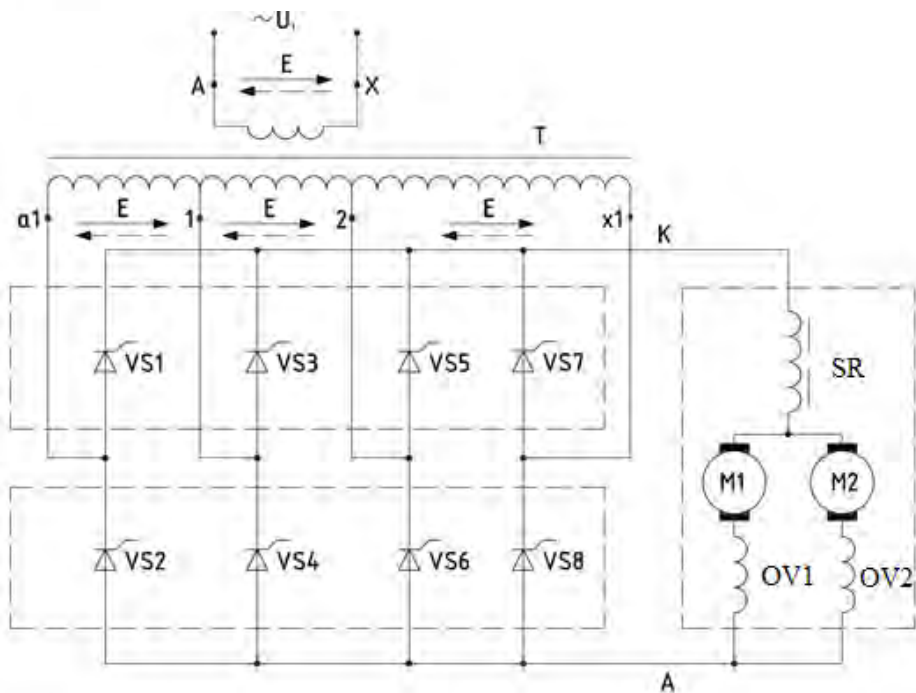


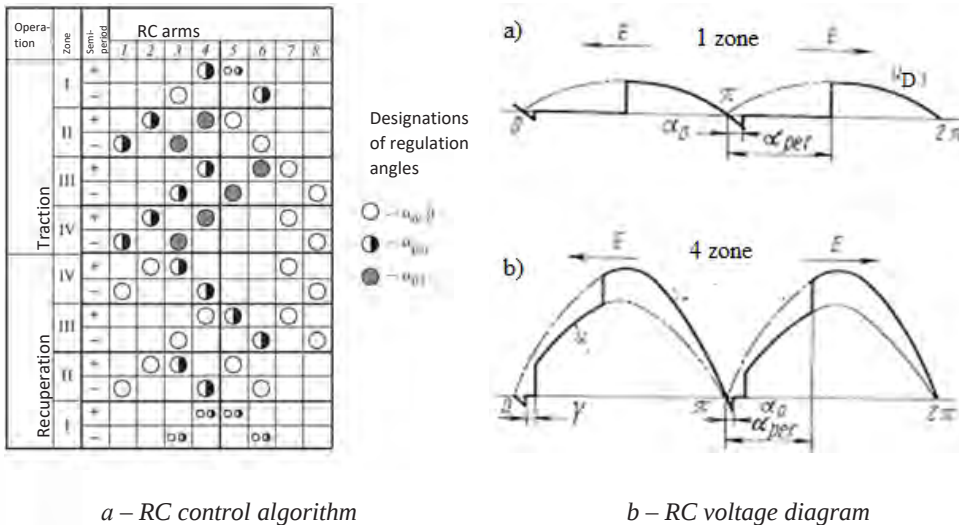
Fig. 7. Principal power circuit scheme of an electric locomotive VL80R [20–24].

(Pic. 8) [24]. Therefore, for AC electric locomotives with RC, the rated power factor is lower and is $K_m = 0,84$ [19]. In the studies performed for a serviceable locomotive, the mathematical expectation is $K_m = 0,69$ at $\sigma = 10$ and unimodality is of 3 %. The maximum value did not exceed $K_m \leq 0,83$.

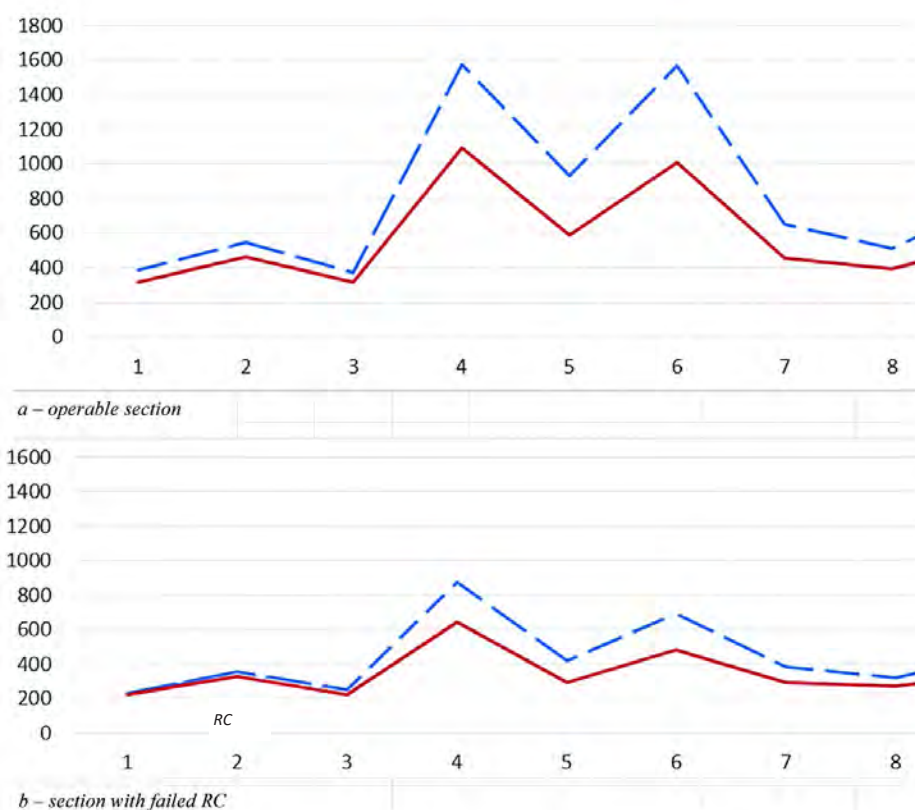
Traction electric motors (TEM) can give maximum spread, but permissible dispersion

of their characteristics does not exceed 3 %. For smoothing reactors, even if there is a slight scattering, it introduces a constant error.

Thus, it follows from the structure of the locomotive and the design of its control system that theoretically there should not be a significant dispersion in consumption of active and reactive energy for two serviceable sections of one locomotive.



Pic. 8. Four-zone control of RC of an electric locomotive VL80R [20–24].



Pic. 9. Active (dotted line, above) and reactive (direct line, below) components of energy of a locomotive of an operable section and section with failed RC (compiled by the authors).

There can be two reasons for changing the ratio of active and reactive power: a disproportionate change in active power and/or a disproportionate change in reactive power.

The reactive power of the locomotive takes place, first, due to the thyristor control circuit, when the opening of RC (in fact, of the rectifier bridge) occurs according to the control pulse $9^\circ < \alpha_{REG} < 156^\circ$. Thus, the delay of the current from the voltage always occurs (Pic. 8b).

An additional delay of the current from the voltage is due to the thyristor switching time γ (Pic.8b), the duration of which depends on the value of the inductive load: of a smoothing reactor and two traction motors (TEM). With the same control position, a disproportionate change in the load can only be due to a change in the parameters of the traction motor, including due to disconnection. TEM has a constant inductance L_{TEM} , which is determined by its design and the variable inductance is due to the phenomena of self-induction and mutual induction [29–31].

Pic. 3 shows an example of detecting an emergency shutdown of a part of the power circuit of an electric locomotive section, which leads to a significant reduction in the section's energy consumption: when one TEM is disconnected, traction power consumption will fall by 25 %, for one RC – by 50 %. However, with proper operation of auxiliary machines (fan motors and compressors), which consume up to 20 % of the total power consumption, the drop will be approximately by 21 % and 42 %. In the example shown in Pic. 3 the drop was of 41–45 %. In this case, the ratio of active and reactive energies did not change (Pic. 9).

The main reason for change in current of one section (except for disconnecting a section, RC or TEM) is skidding of one or several wheelsets, which, with a constant voltage on the traction motor $U_{TEM} = \text{const}$, is accompanied by an increase in the electromotive force E (emf) and a drop in TEM current I_{TEM} [30]:

$$U_{TEM} = I_{TEM} \cdot r_{TEM} + E = I_{TEM} \cdot r_{TEM} + C \cdot n_{TEM} \cdot F_{TEM}, \quad (11)$$

where r_{TEM} – TEM resistance;



n_{TEM} — TEM speed of rotation;
 F_{TEM} — magnetic flux of TEM;
 C — constant.

Increased skidding occurs near the first (in the direction of travel) wheel-motor unit (WMU), near WMU with a violation of the locomotive hanging, at WMU with a smaller diameter of the tire of the wheelset D_{ws} , because with equal torque of the manual gearbox wheel set M_{KP} , the traction force F_{T} will be increased: $M_{\text{KP}} = F_{\text{T}} \cdot D_{\text{ws}} / 2$. (12)

When skidding, the current falls, and consequently power consumption also falls. With a constant resistance and inductance of the circuit, the active and reactive power should decrease proportionally. However, this is not the case: when skidding, the inductive resistance ωL of a skidding TEM increases:

$$\omega L = (\omega_1 L_1 \cdot \omega_2 L_2) / (\omega_1 L_1 + \omega_2 L_2), \quad (13)$$

where $\omega_1 L_1$, $\omega_2 L_2$ — inductive resistance of the first and the second TEM; $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$; f — frequency of signal change.

Within the limit $f \rightarrow \infty$, the inductive resistance of two traction motors will double.

Thus, during skidding, power consumption decreases with an increase in the share of reactive power and a decrease in the power factor of the locomotive section. Thus, lower power consumption with decreasing power factor may be an indication of increased skidding.

Pic. 1 shows that when current is weakened, significant spreads of TEM currents can occur. A traction electric motor with a lower current will have less inductive resistance, which should also affect the laws of active and reactive power.

Thus, all the main types of faults in the power circuits of an electric locomotive with RC affect the nature of consumption of active and reactive energy.

5. Conclusion

1. To increase the efficiency of monitoring the technical condition of AC electric locomotives with reversible converters, a method for diagnosing their serviceability according to the data of electronic electricity meters transmitting data online is proposed.

2. The performed studies have shown that dynamic data on consumption of active and reactive energy, automatically collected online from domestic AC locomotives with reversible converters, can be used to diagnose the technical condition of a locomotive within the

system of their monitoring. The method is based on comparison of the dynamics of consumption of active and reactive energy of two sections of a single locomotive according to the principle of functional benchmarking.

3. When monitoring the technical condition of locomotives, the term «pre-failure» can be used, which is defined as the operable condition of a locomotive when there are internal hidden defects or damage. Pre-failure is manifested in the consumption of electricity; the defect that caused it should be determined when the locomotive undergoes TMR.

4. The parameter «Significance of differences in power factor K_m », determined using Kolmogorov-Smirnov criterion, is the most sensitive to pre-failure. The parameter «Significance of differences in total energy» turned out to be the least sensitive to pre-failure.

5. In further studies, the authors intend to reveal regularities (functional relationships) will be established between the manifestations of pre-failure states according to the data on consumption of active and reactive components of energy and the faults that have arisen in the circuits of AC electric locomotive with RC.

REFERENCES

1. Monitoring of the technical condition and operating modes of locomotives. Theory and Practice [Monitoring tekhnicheskogo sostoyaniya i rezhimov ekspluatatsii lokomotivov. Teoriya i praktika]. Ed. by I. K. Lakin. Moscow, LLC Locomotive Technologies, 2015, 212 p.
2. Hedlund, E. H., Roddy, N. E., Gibson, D. R., Biley, R. G., Pander, J. E., Puri, A., O'Camb, T. E., Lovelace, J. H., Steven, L. Apparatus and Method for Performance and Fault Data Analysis. US Patent 6,651,034 B1, 2003; US Patent 7,013,239 B2, 2006. Assignee: General Electric Company.
3. Lakin, I. I. Monitoring of the technical condition of locomotives according to the data of onboard hardware and software complexes. Ph.D. (Eng) thesis [Monitoring tekhnicheskogo sostoyaniya lokomotivov po dannym bortovykh apparatno-programmnykh kompleksov. Dis... kand. tekhn. nauk]. Moscow, MIIT publ., 2016, 211 p. [Electronic resource]: https://www.miit.ru/content/%D0%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F.pdf?id_wm=756728. Last accessed 13.05.2020.
4. Abolmasov, A. A. Management of the technical state of traction rolling stock in the conditions of service. Ph.D. (Eng) thesis [Upravlenie tekhnicheskim sostoyaniem tyagovogo podvizhnogo sostava. Dis... kand. tekhn. nauk]. Moscow, MIIT publ., 2017, 180 p. [Electronic resource]: <https://docplayer.ru/49152812-Abolmasov-aleksey-aleksandrovich-upravlenie-tekhnicheskim-sostoyaniem-tyagovogo-podvizhnogo-sostava-v-usloviyah-servisnogo-obsluzhivaniya.html>. Last accessed 13.05.2020.
5. Pustovoy, V. N., Lyangasov, S. L., Lakin, I. K. Monitoring of violations of operating modes of locomotives according to MPC data [Monitoring narushenii rezhimov

ekspluatatsii lokomotivov po dannym MSU]. *Transport infrastructure of the Siberian region: materials of the sixth international scientific and practical conference*. Irkutsk, 2015, pp. 354–358.

6. Pustovoy, I. V. Development of an information-dynamic model of service maintenance. Ph.D. (Eng) thesis [Razrabotka informatsionno-dinamicheskoi modeli upravleniya servisnym tekhnicheskim obsluzhivaniem. Dis... kand. tekhn. nauk]. Omsk, OmGUPS publ., 2019, 181 p. [Electronic resource]: <https://www.usurt.ru/uploads/main/065/5b97add2b36f8/%D0%94%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F%D0%9F%D1%83%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%98%D0%BB%D1%8C%D0%B8%D0%92%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87%D0%B0.pdf>. Last accessed 13.05.2020.

7. Official site of JSC TransMashHolding. Section «Enterprises». [Electronic resource]: https://www.tmholding.ru/about_us/enterprises/. Last accessed 13.05.2020.

8. Official website of LLC Ural locomotives. Section «Products». [Electronic resource]: <http://ulkm.ru/produkcija/>. Last accessed 13.05.2020.

9. Golovin, V. I., Nagovitsyn, V. S. ACS with safety function for electric locomotive 2ES6 [ASU s funktsiei bezopasnosti dlya elektrovoza 2ES6]. Website SCBIST, 2018, Iss. 4. [Electronic resource]: <http://scbist.com/>. Last accessed 13.05.2020.

10. Semchenko, V. V., Lakin, I. K., Chmylev, I. E. Operation and maintenance of electronic control systems for alternating current electric locomotives [Ekspluatatsiya i tekhnicheskoe obsluzhivanie elektronnykh sistem upravleniya elektrovozov peremennogo toka]. Krasnoyarsk, Publishing house of the road implementation center of Krasnoyarsk railway, 2010, 72 p.

11. GOST [State standard] 20911-89. Technical diagnostics. Terms and Definitions. [Electronic resource]: <http://docs.cntd.ru/document/1200009481>. Last accessed 13.05.2020.

12. GOST [State standard] 27.002-2015. Reliability in technology (SSNT). Terms and Definitions. [Electronic resource]: <http://docs.cntd.ru/document/1200136419>. Last accessed 13.05.2020.

13. Lipa, K. V., Grinenko, V. I., Lyangasov, S. L., Lakin, I. K., Abolmasov, A. A. [et al.]. Method of technical diagnostics of locomotive equipment and a device for its implementation. Patent (invention), dated July 21, 2017, No. 2626168 [Sposob tekhnicheskogo diagnostirovaniya oborudovaniya lokomotiva i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya. Patent na izobretenie ot 21.07.2017 g. № 2626168]. [Electronic resource]: https://yandex.ru/patents/doc/RU2626168C2_20170721. Last accessed 13.05.2020.

14. Lipa, K. V., Grinenko, V. I., Lyangasov, S. L., Lakin, I. K., Abolmasov, A. A. [et al.]. Method for managing maintenance and repair of railway transport and a system for its implementation. Patent (invention), dated 24.10.2013 No. 2569216 [Sposob upravleniya obsluzhivaniem i remontom zheleznodorozhnogo transporta i Sistema dlya ego osushchestvleniya. Patent na izobretenie ot 24.10.2013 g. № 2569216]. [Electronic resource]: https://yandex.ru/patents/doc/RU2569216C2_20151120. Last accessed 13.05.2020.

15. Official website of NIITKD. Section «Locomotive economy». [Electronic resource]: <http://niitkd.com/lokomotivnoe/ekspluatatsiya/apparatno-programmnyy-kompleks-bort-detail>. Last accessed 13.05.2020.

16. Ovcharenko, S. M. Improving the efficiency of the system for diagnosing diesel locomotives. D.Sc. (Eng)

thesis [Povyshenie effektivnosti sistemy diagnostirovaniya teplovozov. Dis... dokt. tekhn. nauk]. Omsk, OmGUPS, 2007, 366 p.

17. Official website of the company AVP Technology. Section «Monitoring». [Electronic resource]: <https://avpt.ru/projects/monitoring-i-kontrol/>. Last accessed 13.05.2020.

18. Tikhmenev, B. N., Trakhtman, L. M. Rolling stock of electrified railways. Theory of the operation of electrical equipment. Electric circuits and devices [Podvizhnoi sostav elektrifitsirovannykh zheleznykh dorog. Teoriya raboty elektrooborudovaniya. Elektricheskie skhemy i apparaty]. Moscow, Transport publ., 1980, 471 p.

19. Kapustin, L. D., Kopanov, A. S., Lozanovsky, A. L. Features of arrangement and operation of VL80R electric locomotive [Osobennosti ustroystva i ekspluatatsii elektrovoza VL80R]. Moscow, Transport publ., 1979, 175 p.

20. Gorban, V. N., Donskoy, A. L., Shabalin, N. G. Electronic equipment of VL80 electric locomotive: Repair and maintenance [Elektronnoe oborudovanie elektrovoza VL80: Remont i tekhnicheskoe obsluzhivanie]. Moscow, Transport publ., 1984, 184 p.

21. Electric locomotive VL80R. Operation manual [Elektrovoz VL80R. Rukovodstvo po ekspluatatsii]. Moscow, Transport publ., 1982, 541 p.

22. Electric locomotive VL85. Operation manual [Elektrovoz VL85. Rukovodstvo po ekspluatatsii]. Moscow, Transport publ., 1986, 572 p.

23. Mainline electric locomotive 2ES5K (3ES5K). Manual. Book 1. Electrical circuits [Elektrovoz magistralniy 2ESK (3ESK). Rukovodstvo po ekspluatatsii. Kn.1. Elektricheskie skhemy]. Novocherkassk, 2004, 248 p.

24. Kapustin, L. D., Kopanov, A. S., Lozanovsky, A. L. Reliability and efficiency of VL80R electric locomotives in operation [Nadezhnost' i effektivnost' elektrovozov VL80R v ekspluatatsii]. Moscow, Transport publ., 1986, 240 p.

25. Semchenko, V. V., Vlashevsky, S. V. Device for increasing the power factor of a reversible single-phase AC converter. Utility model patent No. 192613, dated 24.09.2019 [Ustroystvo dlya povysheniya koeffitsienta moshchnosti vypryamitelno-invertornogo preobrazovatelya odnofaznogo peremennogo toka. Patent na poleznyuyu model' № 192613 ot 24.09.2019]. [Electronic resource]: https://yandex.ru/patents/doc/RU192613U1_20190924. Last accessed 13.05.2020.

26. Certificate of state registration of the computer program No. 2020613912 Russian Federation. Energy efficiency analysis program for AC electric locomotives with reversible converters. Semchenko, V. V., Lakin, I. K., [et al.]; copyright holder Joint Stock Company Railroad Centre of Technology Implementation of Krasnoyarsk Railway. No. 2019665780, app. 05.12.2019, publ. 24.03.2020, 1 p.

27. Osetrova, I. S., Osipov, N. A. Microsoft Visual Basic for Application. St. Petersburg, NIU ITMO publ., 2013, 120 p.

28. Ventsel, E. S. Probability theory: Textbook [Teoriya veroyatnosti: Uchebnik]. 12th stereotype ed. Moscow, Yustitsiya publ., 2018, 658 p.

29. Bessonov, L. A. Theoretical foundations of electrical engineering [Teoreticheskie osnovy elektrotekhniki]. Moscow, Vysshaya shkola publ., 1996, 638 p.

30. Dynamic inductance [Dinamicheskaya induktivnost']. [Electronic resource]: <http://www.transportine.ru/inets-455-2.html>. Last accessed 13.05.2020.

31. Zakharchenko, D. D., Rotanov, N. A. Traction electric machines [Tyagovie elektricheskie mashiny]. Moscow, Transport publ., 1991, 343 p.





Автодорожные путепроводы лифтового типа для пересечения железнодорожных путей в условиях плотной застройки современных городов



Дмитрий ЕФАНОВ



Валерий МЯЧИН



Герман ОСАДЧИЙ

Ефанов Дмитрий Викторович — ООО НТЦ «Комплексные системы мониторинга», Санкт-Петербург; Российский университет транспорта, Москва, Россия.

Мячин Валерий Николаевич — Научно-исследовательский и проектный институт территориального развития и транспортной инфраструктуры (ООО «НИПИ ТРТИ»), Санкт-Петербург, Россия.

Осадчий Герман Владимирович — ООО НТЦ «Комплексные системы мониторинга», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия*.

Приводятся теоретические предпосылки возведения автодорожных путепроводов лифтового типа для пересечения железнодорожных путей автомобильным транспортом. Предложено техническое решение, позволяющее обеспечивать пересечение легковыми автомобилями «проблемных» железнодорожных переездов в периоды их долговременного закрытия для движения автомобильного транспорта. Это же решение может быть использовано для организации автодорожного путепровода в необходимых местах, где железнодорожный переезд отсутствует. Само техническое решение основано на использовании надземных автодорожных путепроводов и является «облегчённой» копией решения, реализованного Илоном Маском и его компанией в Лос-Анджелесе на основе тоннеля, движущихся платформ и грузовых лифтов. При разработке автодорожных путепро-

водов лифтового типа используются расчётные методы теоретической механики, технической диагностики и мониторинга, а также теории массового обслуживания для оценки количества пропускаемых автомобилей при закрытии переездов. Предложено сами конструкции надземного путепровода «встраивать» в ландшафт, оборудовать альтернативными источниками энергоснабжения и техническими средствами контроля, диагностирования и мониторинга подвижного железнодорожного состава и места непосредственного пересечения автомобильной и железной дорог (организовывать зону интеллектуального мониторинга). Предложенное перспективное техническое решение в виде автодорожного путепровода позволяет повысить комфортабельность автомобильных перевозок и безопасность движения на переездах.

Ключевые слова: транспорт, железнодорожный переезд, безопасность движения, надземный автодорожный путепровод лифтового типа, оптимизация движения, информационные сервисы на железнодорожных переездах.

*Информация об авторах:

Ефанов Дмитрий Викторович — доктор технических наук, доцент, заместитель генерального директора по научно-исследовательской работе ООО НТЦ «Комплексные системы мониторинга», Санкт-Петербург, Россия; профессор кафедры автоматики, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте Российского университета транспорта, Москва, Россия, TrES-4b@yandex.ru.

Мячин Валерий Николаевич — доктор технических наук, профессор, генеральный директор Научно-исследовательского и проектного института территориального развития и транспортной инфраструктуры (НИПИ ТРТИ); генеральный директор ООО НТЦ «Комплексные системы мониторинга», Санкт-Петербург, Россия, vmyachin@ipr.ru.

Осадчий Герман Владимирович — технический директор ООО НТЦ «Комплексные системы мониторинга», старший преподаватель кафедры автоматики и телемеханики на железных дорогах Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия, osgerman@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 09.10.2020, принята к публикации 11.11.2020.

For the English text of the article please see p. 100.

ВВЕДЕНИЕ

Места пересечения автомобильных и железных дорог в одном уровне, или железнодорожные переезды [1], по статистике являются самыми частыми местами возникновения нарушений в работе железнодорожной транспортной системы. Эти данные актуальны для всего мира, а не только для отдельно взятой страны или региона [2; 3]. В одной только Великобритании на территории площадью 243 809 км² сосредоточено около 6 тыс. железнодорожных переездов (примерно один переезд на 40 км²) [4], а в странах ЕС расположено свыше 100 тыс. переездов [3], среди которых около 49 % являются неохраняемыми. Железнодорожные переезды являются местами повышенного риска для безопасности как пользователей автомобильных, так и железных дорог.

Причины нарушений на железнодорожных переездах крайне разнообразны, однако все они могут быть сведены к ошибкам в работе человеко-машинной системы: действия водителей автомобильного транспорта могут быть спровоцированы неправильно понимаемыми ими действиями железнодорожного транспорта в режиме ожидания разрешения на проследование через переезд, что приводит к допущению ими нарушений правил дорожного движения. В этот момент они и становятся источниками опасного влияния на железнодорожную систему.

Нарушения возникают часто из-за того, что переезд для движения автотранспорта закрывается заблаговременно и открывается также не моментально. При этом в зависимости от категории железнодорожной линии, путевого развития и максимальных допустимых скоростей перемещения поездов время ожидания может существенно варьироваться. Часто переезды могут находиться в зонах сложившейся городской инфраструктуры и вызывать весомые перерывы в движении. Так, печально известен переезд на линии Санкт-Петербург–Москва, где курсируют скоростные поезда «Сапсан», в г. Колпино (Санкт-Петербург), который закрывается за 20 мин до проследования поезда и открывается только спустя 20 мин. Если учесть, что для «Сапсана» установлено тактовое движение, то перерывы для про-

следования переезда становятся близкими к получасу [5]. Попад в пробку, водитель становится заложником ситуации и вынужден терять время, а также стабильность психологического состояния, что, несомненно, оказывает и влияние на транспортную систему.

Для зон взаимодействия автомобильного и железнодорожного транспорта, подобных описанному в примере, наилучшим с позиции и надёжности, и безопасности, и скорости проследования является строительство многоуровневых развязок. Однако у такого решения есть два существенных, даже определяющих, недостатка. Первый заключается в экономических аспектах и в больших затратах на строительство многоуровневых развязок. Второй связан с особенностями градостроения и с тем, что в ряде районов со сложившейся инфраструктурой порой чисто технически строительство многоуровневых развязок становится нецелесообразным. Следует отметить, что по данным [3], основными направлениями развития в области безопасности движения на переездах является повышение числа технических средств автоматизации управления переездом, однако упущены возможности современных информационных систем [6–8].

Одним из решений по оптимизации движения на переездах является интеграция данных от железнодорожных систем организации и управления движением, а также автоматики и телемеханики в мобильные навигационные системы и построение маршрутов для движения автомобильного транспорта с учётом прогнозного времени закрытия и открытия переездов [9; 10]. При невозможности получения данных от железнодорожной транспортной системы есть вариант реализации системы прогнозирования с собственными датчиками, устанавливаемыми вблизи переезда. Такое решение позволяет давать участникам движения, как водителям автотранспорта, так и машинистам локомотивов, прогноз состояния переезда и прогноз размеров движения и движения как такового в зоне пересечения автомобильной и железной дорог. Этот прогноз сам по себе является ценнейшей информацией для обеспечения безопасности движения: число случаев аварий и крушений гаранти-



рованно сократится, так как участники движения получают информацию «о ближайшем будущем» и выберут допустимые действия.

Ещё одним перспективным вариантом организации движения на переездах является использование специализированных грузовых лифтов и надземных автодорожных путепроводов, предназначенных для проследования автомобильным транспортом места пересечения автомобильной и железной дорог. Подобные автомобильные путепроводы лифтового типа могут устанавливаться не только в непосредственной близости к переездам, но и встраиваться в существующую городскую инфраструктуру с учётом наиболее напряженных участков для движения. Автомобилист будет иметь выбор для использования данного объекта транспортной инфраструктуры (подобно наличию альтернативы в движении в крупных городах: по бесплатным и платным дорогам). При разработке конструкции требуется учитывать методы теоретической механики для выбора мощностей двигателей для подъёма автомобилей на определенную высоту, а также методы теории массового обслуживания для оценки количества пропускаемых автомобилей при закрытии переездов. Это, однако, потребует моделирования работы путепровода в различных дорожных сценариях.

Такое инновационное решение требует дополнительного изучения и анализа.

Целью описываемого в статье исследования является изучение особенностей обустройства автомобильных путепроводов с учётом применимых инноваций и перспектив их массового внедрения. При проведении исследования использовались *методы* теоретической механики, технической диагностики и мониторинга, а также теории массового обслуживания для оценки количества пропускаемых автомобилей при закрытии переездов. Результатом является разработанное инновационное решение для пересечения железных дорог, основанное на использовании автодорожных путепроводов лифтового типа.

Следует обратить внимание на то, что аналогом такого решения может считаться изобретение The Boring Company Илона Маска, внедрённое в Лос-Анджелесе, где также используются грузовые лифты, но

доставляют они автомобили на специальные движущиеся платформы под землю, а движение осуществляется по тоннелю [11; 12]. Такое решение, однако, оказывается весьма дорогостоящим, в отличие от предлагаемого авторами.

НАДЗЕМНЫЕ ПУТЕПРОВОДЫ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Автодорожный путепровод лифтового типа может представлять собой специальную конструкцию, совмещающую в себе надземный путепровод и конструкции для вертикального подъёма на него по обоим концам с использованием грузового лифта.

Возведение представленной конструкции не требует изменения застройки в районе пересечения автомобильной и железной дорог, а также строительства подходов, что крайне актуально в условиях сложившейся застройки и не влияет на архитектурный облик города.

В качестве устройств доставки автомобиля на путепровод можно применять специальные подъёмники или лифты, широко используемые в крупнейших городах всего мира. Во многих городах все сильнее ощущается нехватка свободного пространства, и размещение автомобилей под землёй с помощью подъёмного механизма не нарушает окружающую архитектуру. Автомобильные лифты нашли своё применение и в торговых центрах с парковками на крыше, а в жилых домах — в подвале.

Автомобильный подъёмник (рис. 1) представляет собой конструкцию, состоящую из опорной системы и механизма привода. Работа устройства происходит следующим образом. Автомобиль заезжает на площадку, датчики габарита (они находятся на концах ограждающих перил) считывают правильное положение автомобиля, и опорная система приходит в движение, поднимая автомобиль на необходимую высоту.

У ножничных подъёмников (рис. 1а) движение платформы происходит с помощью рычагов, находящихся под ней и расположенных по типу ножниц. Воздействующие на рычаги цилиндры заставляют их раскладываться, что позволяет поднять платформу вверх.

Минусом использования ножничных подъёмников является отсутствие стенок

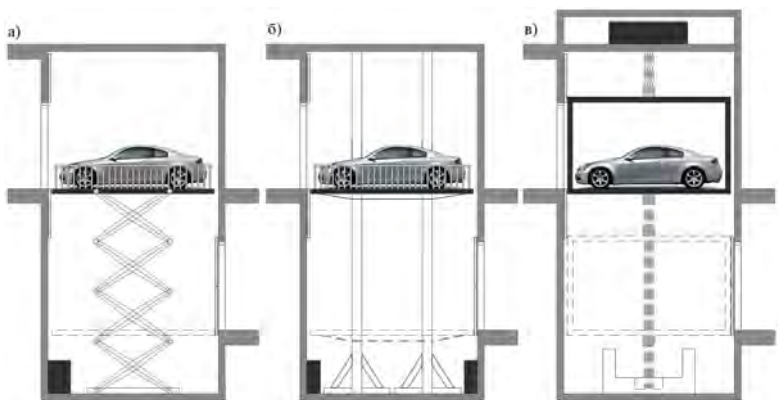


Рис. 1. Вариант подъёмных устройств: а) ножничный автомобильный подъёмник; б) колонный автомобильный подъёмник; в) автомобильный лифт [подготовлен авторами].

у их платформы. То есть вышедших (случайно или преднамеренно) пассажиров, как и самого водителя, ничего не защищает от падения или получения травм на таком подъёмнике. Кроме того, установка не сдвинется с места, если машина на площадку заехала неправильно. Это приведёт к дополнительным перемещениям (маневрированию) автомобиля на площадке подъёмника, что увеличит время занятости подъёмника и пересечения железнодорожной линии. Эту конструкцию сложно будет реализовать, так как она не способна выдержать подъём автомобиля более трёх тонн на высоту семи метров (что необходимо по условиям приближения габаритов строения).

Вариант подъёмника на рис. 1б представляет собой конструкцию из двух (по одной с бортов автомобиля) или четырёх (по две с бортов автомобиля) колонна-направляющих, расположенных перпендикулярно платформе. В этом случае подъём происходит за счёт гидроцилиндров. Они перемещают каретки, прикреплённые к платформе, по специальной системе, в которую входят тяговые цепи и полиспастные механизмы. Стандартным значением высоты, на которую можно поднять автомобиль, является 7 м. Но, к сожалению, все остальные минусы первого варианта подъёмника (см. рис. 1а) остаются и здесь.

Наиболее совершенным вариантом, лишённым обозначенных недостатков, является автомобильный лифт (рис. 1в) — тот же грузовой лифт, способный поднимать на необходимую высоту груз, масса

которого не должна быть больше 3,5 т. При данном варианте подъёмника не нужно следить за срабатыванием датчиков и переставлять транспорт в «более удобное» положение. В этом случае, при заезде автомобиля в кабину лифта, подъём начинается сразу же после полного закрытия дверей.

Дизайн путепровода может быть адаптирован к ландшафту и легко вписан в него (рис. 2, 3), а путепровод может исполняться как с одним тоннелем для движения, так и с двумя тоннелями (они могут быть расположены как параллельно, так и друг над другом).

Целесообразно использовать такой «переездный» лифт как инженерное сооружение, предоставляющее «дополнительную услугу» для автомобильного транспорта, а не как обычное средство пересечения железной дороги. На подходах к лифту устанавливаются зоны контроля, работающие в автоматическом режиме (по типу работы зон подхода автомобильного транспорта в аэропортах или по типу работы зон оплаты проезда на выделенных высокоскоростных магистралях). При этом возможна организация электронной очереди на лифт с различными приоритетами, например, в проследовании машин скорой помощи. Удобно и просто необходимо в связи с тотальным использованием мобильных приложений разрабатывать и внедрять мобильные приложения для повышения комфортабельности использования предоставляемого сервиса, заблаговременного планирования и оптимизации движения.





Рис. 2. Вариант расположения путепровода с зоной одностороннего проследования (вид из кабины автомобиля) [подготовлен авторами].

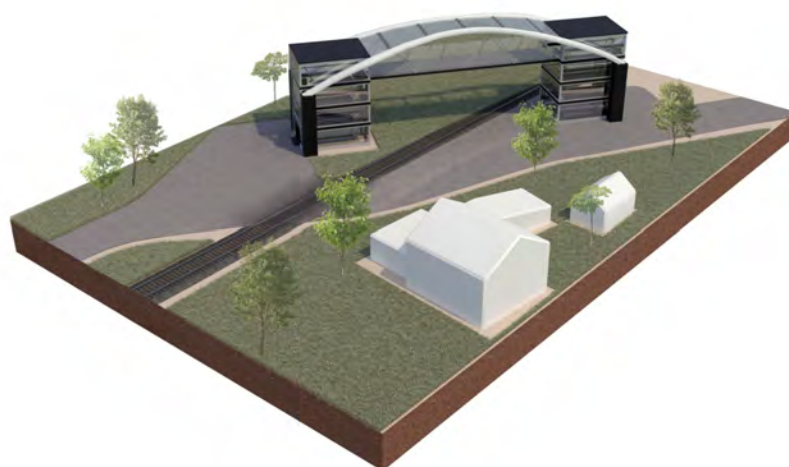


Рис. 3. Вариант расположения путепровода с зоной одностороннего проследования (вид с высоты птичьего полёта) [подготовлен авторами].

СЦЕНАРИИ ОБРАЗОВАНИЯ ОЧЕРЕДЕЙ У ПУТЕПРОВОДА В НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ БЛИЗОСТИ К ПЕРЕЕЗДУ

Работа надземного путепровода с одним и с двумя тоннелями определяется особенностями образования автомобильных потоков, заинтересованных в его использовании, по обеим сторонам путепровода со стороны автомобильной дороги. Фактически предлагаемое техническое решение является либо одноканальной, либо двух-

канальной системой массового обслуживания (СМО) [13; 14].

При обоих вариантах организации надземного путепровода для автомобильного транспорта ограничениями на работу являются периоды, когда переезд открыт для движения автомобильного транспорта, отсутствуют дорожно-транспортные происшествия, мешающие проследованию через железную дорогу и пр. Имеет смысл рассматривать работу СМО только в моменты времени от закры-

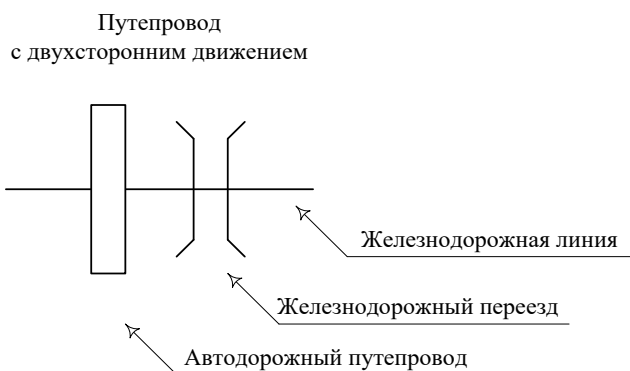


Рис. 4. Условные обозначения.

тия переезда для движения автомобильного транспорта до его открытия. Точнее, от некоторого прогнозного времени, позволяющего заблаговременно активизировать работу системы надземного путевода для автомобильного транспорта. Существует и случай, при котором в момент пробки на переезде в случае высокоприоритетной заявки возможна работа надземного переезда, однако этот случай предлагается не рассматривать в виду отсутствия как таковой СМО при этом варианте: в случае пробки высокоприоритетная заявка может быть обслужена моментально, а события приближения двух высокоприоритетных транспортных средств с обеих сторон от путевода маловероятны. Однако и в этом случае техническое решение выполнит свою работу, пропустив сначала один транспортный объект, затем второй.

Заявки, поступающие на рассматриваемый технический объект «надземный путепровод для автомобильного транспорта» в момент его работы, в самом общем случае имеют следующие параметры:

- с обеих сторон путевода поступают заявки с одинаковым приоритетом и интенсивностями λ_1 и λ_2 ;

- с обеих сторон возможно появление высокоприоритетной заявки с интенсивностью λ_1^n и λ_2^n ;

- среднее время обслуживания каждой заявки определяется временными параметрами подъёма автомобиля, проследования над железнодорожным полотном и спуска и выражаются в общем случае величиной $\frac{1}{\mu}$.

Рассмотрим сценарии формирования очередей у путевода в двух вариантах его реализации — с двухсторонним движением и с односторонним движением (с возможностью реверсирования).

На рис. 4 приведены условные обозначения.

Опишем случай путевода с двухсторонним движением (рис. 5). Прежде всего, будем полагать, что случаи рассмотрения потоков с двух сторон равнозначны и исключим из рассмотрения один из «симметричных вариантов» (например, когда поток имеется только с одной стороны или только с другой стороны). Тогда можно выделить девять различных ситуаций.

Первый сценарий, показанный на рис. 5а, характеризует случай, когда очередь из низкоприоритетных заявок образуется только с одной стороны путевода.

Второй сценарий (рис. 5б) описывает случай возникновения высокоприоритетной заявки с одной из сторон путевода при отсутствии трафика с другой (фактически, аналогичен первому сценарию).

Третий сценарий (рис. 5в) описывает ситуацию формирования как низкоприоритетных, так и высокоприоритетных заявок с одной из сторон путевода при отсутствии трафика с другой.

Четвёртый сценарий (рис. 5г) характеризует ситуацию, когда формируются низкоприоритетные заявки с обеих сторон путевода. Этот случай представляется наиболее интересным. В случае формирования заявок с обеих сторон путевода требуется установить приоритет в движении с какой-либо из сторон. Этот priori-



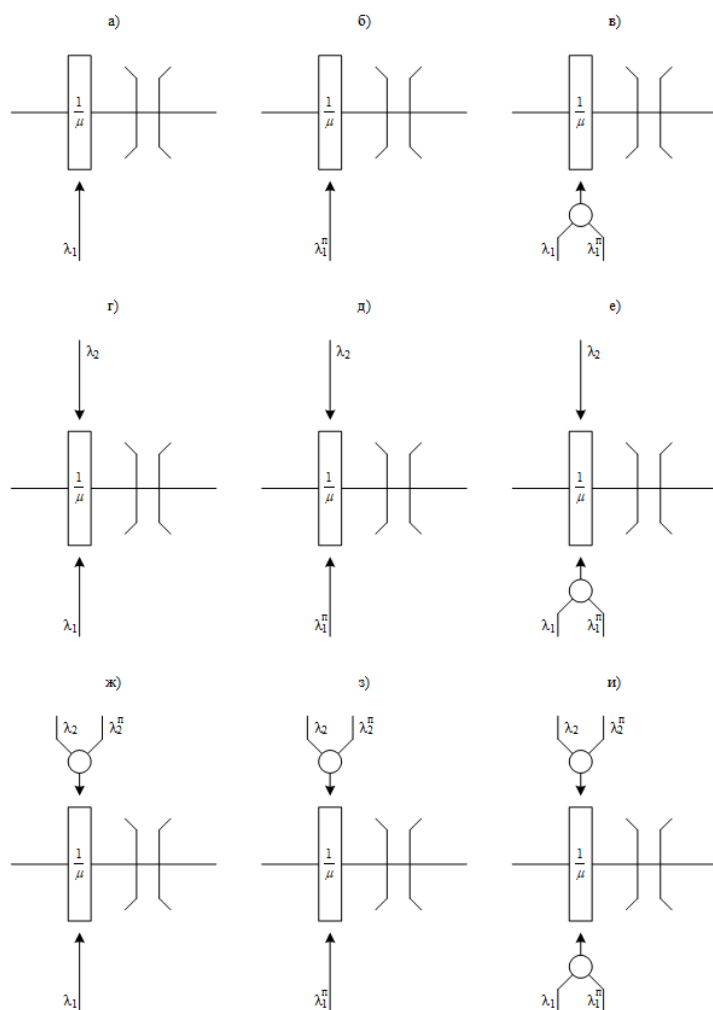


Рис. 5. Сценарии образования очередей у двухстороннего надземного путепровода [подготовлен авторами].

тет может устанавливаться, исходя из числа заявок и ограничений на время работы τ . Положим, для регулирования очередей устанавливаются светофоры с обеих сторон надземного путепровода. Тогда целесообразно с учётом времени τ настроить работу светофоров таким образом, чтобы при движении в обоих направлениях за время τ было пропущено одинаковое количество машин в каждом направлении. В этом случае при малом значении τ может быть выбран приоритет одной из очередей и включено на время $\left(\frac{\tau}{2} - \frac{1}{\mu}\right)$ разрешённое показание для этой очереди и на такое же время — для второй. Если время τ настолько мало, что может быть пропущено малое

число автомобилей, следует приоритет движения установить согласно предварительным заявкам водителей. Если время τ велико (превышает 10–20 минут), то светофоры могут переключаться по несколько раз, выдерживая общее время движения в каждом из направлений — $\frac{\tau}{2}$.

Пятый сценарий (рис. 5д) показывает наличие двух потоков заявок с обеих сторон путепровода, один из которых является высокоприоритетным, второй — низкоприоритетным. В данном случае высокоприоритетные заявки обслуживаются отдельно. Следует отметить, что внутри потока высокоприоритетных заявок могут быть установлены свои приоритеты, одна-

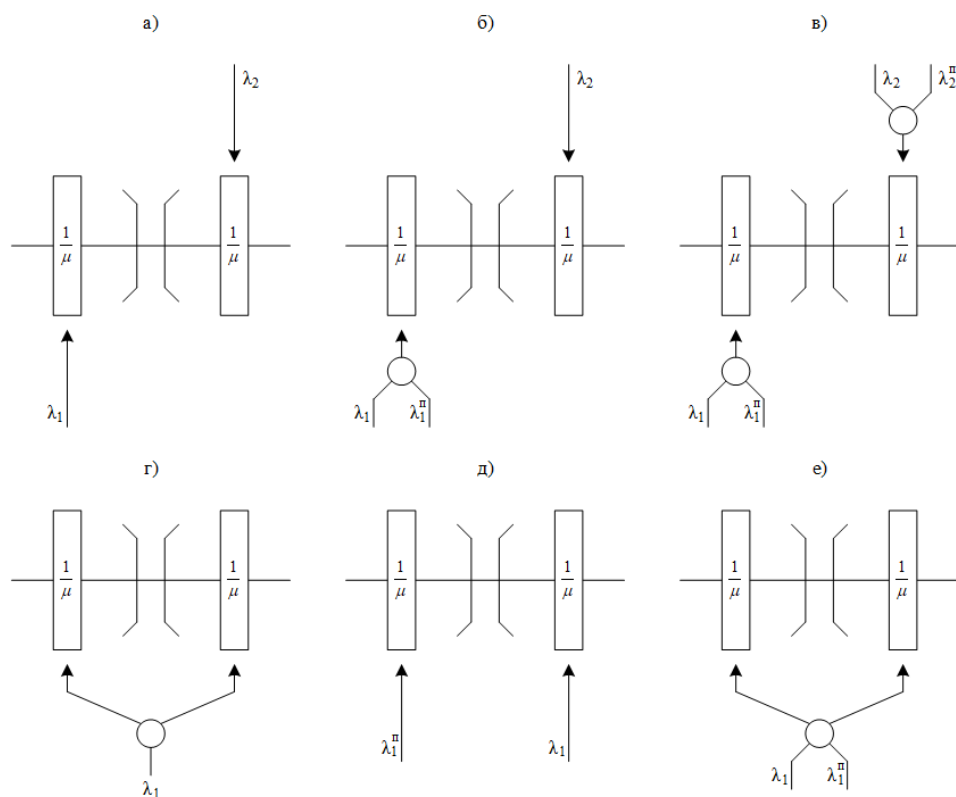


Рис. 6. Сценарии образования очередей у одностороннего (с реверсированием) надземного путепровода [подготовлен авторами].

ко целесообразно их не рассматривать, оценивая только возможности общей работы путепровода по данному сценарию.

Шестой и седьмой сценарии (рис. 5е, ж) описывают идентичные ситуации, когда с одной из сторон путепровода формируются низкоприоритетные заявки, а с другой — и низко-, и высокоприоритетные заявки. В данном случае преимущество отдаётся высокоприоритетным заявкам, по мере исполнения которых путепровод начинает работать по уже рассмотренному выше четвёртому сценарию.

Восьмой сценарий (рис. 5з) описывает похожую на предыдущие две ситуации за тем лишь исключением, что с обеих сторон путепровода формируются высокоприоритетные заявки, а с одной из них — ещё и низкоприоритетные. В этом случае вначале исполняются высокоприоритетные заявки с обеих сторон, а затем — низкоприоритетные с одной из них. При исполнении высокоприоритетных заявок потоки можно считать равноценными, а режим

исполнения заявок можно определять исходя из длины очереди с соответствующим временем обслуживания каждой заявки.

Девятый сценарий (рис. 5и) охватывает самый общий случай формирования обоих видов заявок с двух сторон путепровода. Работа организуется аналогично описанному выше алгоритму для случаев высокоприоритетных заявок с обеих сторон и низкоприоритетных заявок с обеих сторон.

Аналогично представленным на рис. 5 сценариям формирования заявок для путепровода с двухсторонним движением на рис. 6 приведены сценарии для формирования заявок для одностороннего путепровода (с возможностью реверсирования). Можно сказать, что данный вариант организации путепровода может быть рассмотрен на основе отдельных случаев первого варианта организации движения. По этой причине какое-либо дополнительное описание не приводится.

Расчёт приведённой СМО может быть выполнен путём имитационного моделирования (в данной работе не приводится).

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ФУНКЦИОНАЛ АВТОДОРОЖНОГО ПУТЕПРОВОДА

Автодорожный путепровод лифтового типа — уникальное техническое решение, позволяющее встраивать удобные средства пересечения железных дорог в регионах с уже сложившейся инфраструктурой. Само техническое решение не только может быть реализовано с дизайном, идеально вписывающимся и не нарушающим основной «линии» ландшафта, но и снабжаться развитым функционалом, позволяющим сделать не просто конструкцию для решения одной из задач, но и построить многозадачный комплекс. Строения и объекты транспортной инфраструктуры давно следует перестать рассматривать только как статичные объекты, предназначенные сугубо для решения одной узкой задачи. Их следует рассматривать как объекты, созданные человеком для удобства использования, минимизации затрат как временных, так и денежных, для повышения эффективности эксплуатации транспортного комплекса и более комфортабельного использования транспортной системы конечным пользователем. Технические объекты нужно максимально приблизить по их свойствам к свойствам живых объектов из биологического мира и наделить их некоторыми «техническими чувствами» — «техническим слухом», «техническим зрением», «техническим интеллектом». Кроме того, необходимо максимально «озеленить» технические решения, используя альтернативные источники энергии, классифицируя потребителей и реализуя такие технические решения, которые несут пониженный углеродный след [15].

Предлагаемая «облегчённая» копия технического решения компании Илона Маска представляет собой базовую систему, которая легко расширяется и наращивается до многофункционального комплекса, обладающего следующими особенностями:

- крыша комплекса покрывается солнечными панелями для организации энергоснабжения не только от местной электросети, но и от альтернативного источника, и фактически сама конструкция представляет собой «микроэлектростанцию» с накопителями энергии (вполне возможно, что энергии хватит и для питания объектов ав-

томатизации, а также соседних с надземным путепроводом жилых объектов);

- возможно совмещение функции электрозаправки для современных электромобилей от источников «микроэлектростанции»;

- под полом вне нарушения габарита следования подвижного состава устанавливается специализированное диагностическое оборудование для проверки загруженности вагонов, состояния контактной сети (если дорога электрифицирована);

- по бокам конструкции устанавливается оборудование контроля целостности пломб вагонов, распознавания номеров вагонов, дефектоскопии буксовых узлов (возможен вариант с использованием технологии поверхностных акустических волн для мониторинга);

- в зоне пересечения автомобильной и железной дорог (на самом переезде) устанавливаются устройства контроля, технического диагностирования и мониторинга состояния непосредственного пересечения железной и автомобильной дороги и т.д.

Подобный функционал позволяет реализовать в одном комплексе сложный технический «организм», решающий разнообразные задачи и обеспечения отказоустойчивости, и безопасности самой транспортной системы, и комфортности движения пользователей автомобилей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение надземных путепроводов для автомобильного транспорта в «критических зонах» пересечения автомобильных и железных дорог позволяет существенно оптимизировать поездки в крупных городах и регионах со сложившейся инфраструктурой. При этом существует возможность интеграции технического решения с мобильными приложениями и навигационными сервисами таким образом, чтобы очереди на использование надземного путепровода формировались заранее и учитывались при составлении и оптимизации маршрутов. Большое значение может иметь и социальный эффект от использования автодорожных путепроводов лифтового типа в условиях плотной городской застройки современных городов.

Предложенные решения могут быть как отдельными мобильными приложениями,

так и интегрированными сервисами в имеющиеся навигационные и банковские системы. Подобная интеграция позволяет упростить взаимодействие пользователя с транспортной системой, сократить время на проведение операций, обеспечить более комфортное движение и, в конечном итоге, оптимизацию временных и финансовых затрат пользователя.

Следует ещё раз подчеркнуть, что автодорожные путепроводы лифтового типа — это не массовое техническое решение, а платное повышение комфортабельности перевозок и средство оперативного пропуска автомобилей экстренных служб. Кроме того, подобное техническое решение при его модульном исполнении и быстром развёртывании может оказаться полезным при проведении длительных плановых работ, например, связанных с реконструкцией переездов, закрытии их на продолжительное время и пр. Максимально просто возводится представленная конструкция для одно- и двухпутных железнодорожных линий. Время же проезда определяется

величиной $\frac{1}{\mu}$, существенно зависящей от

типов устанавливаемых подъёмников, скорости заезда в лифт, подъёма, проезда по коридору, спуска и выезда из лифта и, по предварительной оценке, не должно превышать одной минуты. Для исключения скопления очередей целесообразно заранее бронировать путепровод, в ряде случаев для оптимизации размещения транспортных средств — строить специально оборудованные отстойники перед заездом. Все это, естественно, требует дальнейшей детальной проработки с учётом условий строительства непосредственно на объекте внедрения и экономического эффекта, просчитываемого дополнительно (на что влияют капитальные вложения, затраты на обслуживание, востребованность у пользователей, возможность привлечения рекламодателей при использовании мобильных приложений и т.д.).

В заключение необходимо отметить также, что представленное техническое решение может быть встречено с осторожностью специалистами, ответственными за принятие решений по строительству инно-

вационных объектов на транспорте, и, естественно, потребует дополнительных исследований, но вполне заслуживает дальнейшего внимания в силу связанных с ним потенциальных положительных эффектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Efanov, D., Lykov, A., Osadchy, G. Testing of Relay-Contact Circuits of Railway Signalling and Interlocking // Proceedings of 15th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2017), Novi Sad, Serbia, September 29–October 2, 2017, pp. 242–248. DOI: 10.1109/EWDTS.2017.8110095.

2. Хорошев В. В., Ефанов Д. В., Осадчий Г. В. Концепция полносвязного мониторинга инфраструктуры переездов // Транспорт Российской Федерации. — 2018. — № 1. — С. 47–52.

3. Report on Railway Safety and Interoperability in the EU. — Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020, 113 p.

4. Enhancing Level Crossing Safety 2019–2029. A Long-Term Strategy Targeting Improved Safety on Great Britain's Railway. — London: NetworkRail, 2019, 35 p.

5. Новое расписание закрытия железнодорожного переезда в Колпино. [Электронный ресурс]: <http://kolpinonews.ru/news/14345>. Доступ 02.07.2020.

6. Астратов О. С., Филатов В. Н. Видеодатчики в системе обеспечения безопасности движения на железнодорожном переезде // Датчики и системы. — 2015. — № 2. — С. 33–37.

7. Samaranayake, P., Matawie, K. M., Rajayogan, R. Evaluation of Safety Risks at Railway Grade Crossings: Conceptual Framework Development // 2011 IEEE International Conference on Quality and Reliability, 14–17 September 2011, Bangkok, Thailand, pp. 125–129. DOI: 10.1109/ICQR.2011.6031694.

8. Busse, R. Increased Network Availability with the Intelligent Operation of Level Crossing Protection Systems // Signal+ Draht, 2020 (112), Iss. 10, pp. 11–17.

9. Efanov, D., Plotnikov, D., Osadchy, G. Prognosis Service for Navigation Systems Regarding Time Parameters of Railroad Crossing // Proceedings of 16th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2018), Kazan, Russia, September 14–17, 2018, pp. 201–208. DOI: 10.1109/EWDTS.2018.8524770.

10. Ефанов Д. В. Цифровой железнодорожный переезд // Автоматика, связь, информатика. — 2018. — № 11. — С. 11–15.

11. Gorman, S. Elon Musk unveils his first Los Angeles-area tunnel. [Электронный ресурс]: <https://www.reuters.com/article/us-musk-tunnel/elon-musk-unveils-his-first-los-angeles-area-tunnel-idUSKBN1O103W>. Доступ 03.07.2020.

12. Маск открыл скоростной подземный туннель под Лос-Анджелесом. [Электронный ресурс]: <https://newizv.ru/news/world/19-12-2018/mask-otkryl-skorostnoy-podzemnyy-tunnel-pod-los-andzhelesom>. Доступ 03.07.2020.

13. Горцев А. М. Двухканальная система массового обслуживания с переходом требований из одной очереди в другую // Автоматика и телемеханика. — 1981. — № 6. — С. 189–192.

14. Бубнов В. П., Сергеев С. А. Нестационарные модели локального сервера автоматизированной системы мониторинга искусственных сооружений // Труды СПИИРАН. — 2016. — № 2 (45). — С. 102–115.

15. Efanow, D. W., Osadtschiy G. W. Energy Efficiency Categories for Safety Installations // Signal+ Draht, 2020, Vol. 112, Iss. 4, pp. 36–42.





Road Overbridges of Car Lift Type for Crossing Railway Tracks in Densely Built-Up Areas of Modern Cities



Dmitry V. EFANOV



Valery N. MYACHIN



German V. OSADCHY

Efanov, Dmitry V., LLC Scientific and Technical Centre of Integrated Monitoring Systems, St. Petersburg; Russia, Russian University of Transport, Moscow, Russia

Myachin, Valery N., LLC Research and Design Institute for Territorial Development and Transport Infrastructure, St. Petersburg, Russia.

Osadchy, German V., LLC Scientific and Technical Centre of Integrated Monitoring Systems; Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia.*

ABSTRACT

The theoretical prerequisites for construction of road overbridges of car lift type for crossing railways by automotive vehicles are suggested. A technical solution has been proposed that makes it possible to ensure the crossing by cars of «problem» railway crossings during periods of their long-term closure for road traffic. The same solution can be used to organise a road overbridge in other locations where there is no railway crossing. The technical solution itself is based on the use of overhead road overpasses and is a «simplified» version of the solution implemented by Elon Musk and his company in Los Angeles based on a tunnel, moving platforms and freight elevators. For

development of car lift type road overbridges, computational methods of theoretical mechanics, technical diagnostics and monitoring, as well as the theory of queuing should be used to estimate the number of cars passed through it when crossings are closed. It is proposed that the structures of the overbridge should be «built-in» into the landscape, equipped with alternative sources of energy supply and technical means of control, diagnostics and monitoring of rolling stock and of location of direct intersection of automobile and railway roads (an intelligent monitoring zone). The proposed promising technical solution in the form of a road overbridge makes it possible to increase comfort of road transportation and improve traffic safety at level crossings.

Keywords: transport, level crossing, traffic safety, car lift type road overbridge, traffic optimisation, information services at level crossings.

*Information about the authors:

Efanov, Dmitry V. – D.Sc. (Eng), Associate Professor, Deputy General Director for Research of LLC Scientific and Technical Centre of Integrated Monitoring Systems, St. Petersburg, Russia; Professor at the Department of Railway Automation, Remote Control and Communication of Russian University of Transport, Moscow, Russia, TrES-4b@yandex.ru.

Myachin, Valery N. – D.Sc. (Eng), Professor, General Director of LLC Research and Design Institute for Territorial Development and Transport Infrastructure (LLC NIPI TRTI); General Director of LLC Scientific and Technical Centre of Integrated Monitoring Systems St. Petersburg, Russia, vmyachin@ipr.ru.

Osadchy, German V. – Technical Director of LLC Scientific and Technical Centre of Integrated Monitoring Systems, Senior Lecturer at the Department of Railway Automation and Remote Control of Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia, osgerman@mail.ru.

Article received 09.10.2020, accepted 11.11.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 90.

Background. Points of intersection of highways and railways at the same level, or level crossings [1], according to statistics, are the most frequent places of occurrence of violations in operation of the railway transport system. These data are relevant for the whole world, and not only for a single country or region [2; 3]. In Great Britain alone, on an area of 243 809 km², there are about 6 thousand level crossings (approximately a level crossing per 40 km²) [4], and in the EU countries there are over 100 thousand level crossings [3], of which about 49 % are unguarded. Level crossings are places of increased safety risk for both road and rail users.

The causes of violations at level crossings are extremely varied, but they can all be reduced to errors in operation of the man-machine system: actions of drivers of road vehicles can be provoked by the incorrectly understood actions of railway transport while the drivers are in the waiting mode for permission to pass through the level crossing, and that is the cause of violations of traffic rules by them. At this point, they become sources of dangerous impact for the railway system.

Violations often occur due to the fact that the crossing is closed for movement of vehicles in advance and also does not open immediately. At the same time, depending on the category of the railway line, track development and the maximum permissible speeds of train movement, waiting time can vary significantly. Crossings can often be located in areas of existing urban infrastructure and cause significant interruptions in traffic. For example, a crossing on St. Petersburg–Moscow line, where high-speed Sapsan trains run, in Kolpino (St. Petersburg) is notorious, as it closes 20 minutes before the train enters the crossing and opens only 20 minutes after it passes. If we consider that the consecutive two train schedule is set for Sapsan trains, the breaks for following the crossing become close to half an hour [5]. Once in a traffic jam, the driver becomes a hostage of the situation and is forced to waste time, as well as to lose the stability of the psychological state, which undoubtedly has an impact on the transport system.

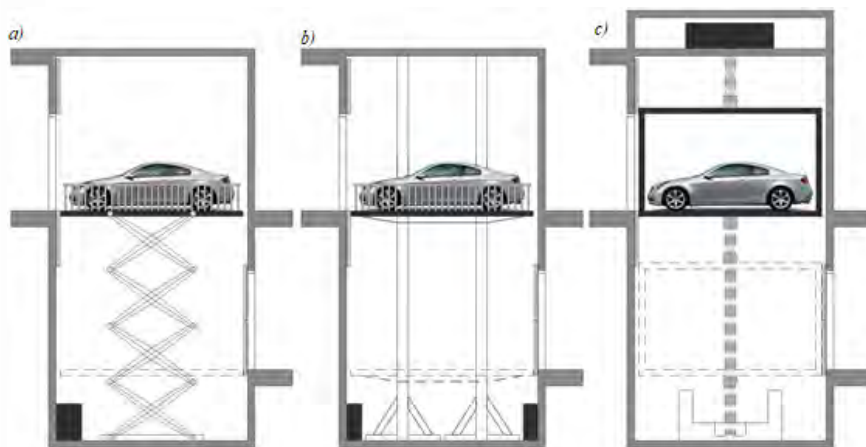
For areas of interaction between road and railway transport, like those described in the example, construction of multi-level interchanges is the best solution from the standpoint of both reliability, safety, and speed of passage. However, this solution has two significant, even

deterministic, disadvantages. The first one is associated with economic aspects and high costs of construction of multi-level interchanges. The second one is associated with the peculiarities of urban planning and with the fact that in a number of areas with an established infrastructure, sometimes construction of multi-level interchanges becomes inappropriate from the purely technical point of view. It should be noted that according to [3], the main directions of development in the field of traffic safety at level crossings are focused on increasing the number of technical means of automation of level crossing control, however, the potential of modern information systems has been somehow overlooked [6–8].

One of the solutions to optimise traffic at level crossings is integration of data from railway systems for organising and controlling traffic, as well as from means automation and telemechanics into mobile navigation systems and building routes for road traffic, considering the predicted closing and opening times of crossings [9; 10]. If it is impossible to obtain data from the railway transport system, then there is an option for implementing a forecasting system with its own sensors installed near the crossing. Such a solution allows to provide traffic participants, both motor transport drivers and locomotive drivers, with a forecast of the situation at the crossing and with a forecast of size of traffic and with information on the traffic itself in the area of intersection of the road and the railway. This forecast by itself is the most valuable information for ensuring traffic safety: the number of accidents and crashes is guaranteed to decrease, as road users will receive information «about the near future» and will choose acceptable actions.

Another promising option for organizing traffic at level crossings is the use of specialized freight elevators and road overbridges designed for the motor vehicles could cross the intersection of the road and railways. Such car lift type road overbridges can be installed not only in the immediate vicinity of the crossings, but also be built in the existing urban infrastructure environment, considering the most intense traffic areas. The car driver will have a choice to use this transport infrastructure object (similar to an alternative that he has in large cities: to travel by free either by toll roads). When developing a design, it is necessary to consider the methods of theoretical mechanics





Pic. 1. Variant of lifting devices: a) scissor car lift; b) column car lift; c) car lift [compiled by the authors].

to choose engine power for lifting cars to a certain height, as well as methods of the theory of queuing to estimate the number of cars that will use that opportunity when the level crossings is closed. This, however, will require simulating operation of the overbridge for various road scenarios.

This innovative solution requires further study and analysis.

The *objective* of the study described in the article is to examine the features of arrangement of road overbridges, considering implied innovations and the prospects for their mass implementation. The study has used the *methods* of theoretical mechanics, technical diagnostics, and monitoring, as well as the theory of queuing to estimate the number of cars served when level crossing is closed. The study has resulted in development of an innovative solution for railway crossings, based on the use of car lift type road overbridges.

It should be noted that such a solution can be considered as the analogue of the invention of The Boring Company by Elon Musk, implemented in Los Angeles, where freight elevators are also used, but to deliver cars underground to special moving platforms, and further movement is carried out through a tunnel [11; 12]. This solution, however, turns out to be quite expensive, in contrast to the one proposed by the authors.

Road overbridges

A car lift type road overbridge might be a special design that combines an overhead overpass and structures for vertical ascent to it at both ends using a freight elevator.

The construction of the presented structure does not require changes in development in the area of intersection of the road and railway, as well as construction of approaches, which is extremely important in the conditions of the existing development and does not affect the architectural appearance of the city.

It is possible to use special lifts or elevators, which are widely used in major cities around the world as devices for delivering a car to the overbridge. In many cities, the lack of free space is increasingly felt, and placing cars underground with the help of a lifting mechanism does not disturb the surrounding architecture. Car lifts are also used in shopping centres with rooftop parking, and in residential buildings with parking lots in the basement.

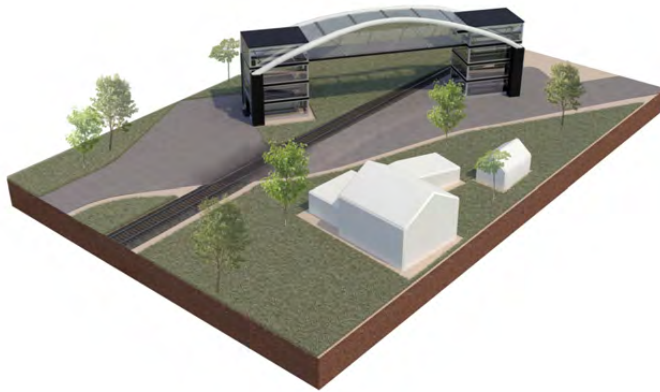
A car lift (Pic. 1) is a structure consisting of a support system and a drive mechanism. The device operates as follows. The car drives onto the platform, gauge sensors (they are located at the ends of guardrails) read the correct position of the car, and the support system starts moving, raising the car to the required height.

In scissor lifts (Pic. 1a), the platform moves with the help of levers located under it and shaped as scissors. The cylinders acting on the levers force them to unfold, which allows to lift the platform up.

The disadvantage of using scissor lifts is the lack of walls at their platform. That is, passengers who left (accidentally or intentionally), as well as the driver himself, are not protected by anything from falling or getting injured on such a lift. In addition, the installation will not budge if the machine has entered the site incorrectly.



Pic. 2. Variant of location of an overbridge with a one-way traffic zone (view from the car) [prepared by the authors].



Pic. 3. Variant of location of the overbridge with a one-way traffic zone (bird's-eye view) [prepared by the authors].

This will lead to additional movements (manoeuvring) of the car on the platform of the lift, which will increase time the lift is occupied and time of a car's crossing the railway line. It will be difficult to implement this design, since it is not able to withstand the lifting of a car of more than 3 tons to a height of 7 meters (which is necessary to ensure the clearance conditions regarding dimensions of the structure).

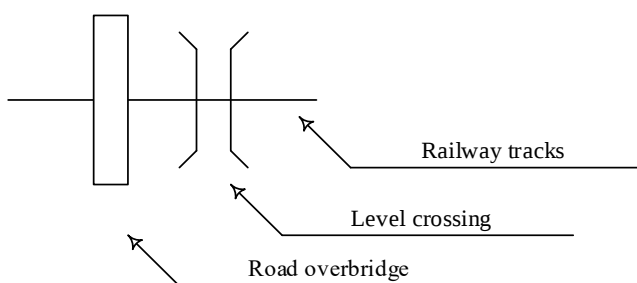
The lift option in Pic. 1b is a structure of two (each of which is located opposite respective side of a car) or four (each two of them are located

opposite respective side of a car) guide columns, located perpendicular to the platform. In this case, lifting is produced by hydraulic cylinders. They move the carriages, attached to the platform with a special system, which includes traction chains and block-and-tackle mechanisms. The standard value of the height to which the car can be lifted is 7 m. But, unfortunately, all other disadvantages of the first version of the lift (Pic. 1a) are consistent with that version as well.

The most perfect option, devoid of the indicated disadvantages, is a car lift (Pic. 1c)



Overbridge with two-way traffic



Pic. 4. Symbols.

which is the same freight elevator capable of lifting a load to the required height, the mass of which should not exceed 3,5 tons. With this version of the lift, it is not necessary to monitor the sensors and rearrange the transport to a «more comfortable» position. In this case, when the car enters the elevator cabin, the ascent starts immediately after the doors are completely closed.

The design of the road overbridge can be adapted to the landscape and easily fit into it (Pics. 2, 3), and the overbridge can be built both with a single tunnel for traffic, and with two tunnels (they can be located both parallel and above each other).

It is advisable to use such a crossing elevator as an engineering structure that provides an «additional service» for road transport, and not as an ordinary means of crossing the railway. At the approaches to the elevator, control zones might be installed that work in automatic mode (according to the type of operation of the approach zones for road transport at airports or according to the type of operation of toll zones on dedicated high-speed highways). At the same time, it is possible to organize an electronic queue to access an elevator fixing different priorities, for example, for ambulances. It is convenient and simply necessary in connection with the universal usage of mobile applications to develop and implement mobile applications to increase comfort of using the provided service, to provide advance planning and traffic optimisation.

Queuing scenarios in direct proximity to the overbridge and level crossing

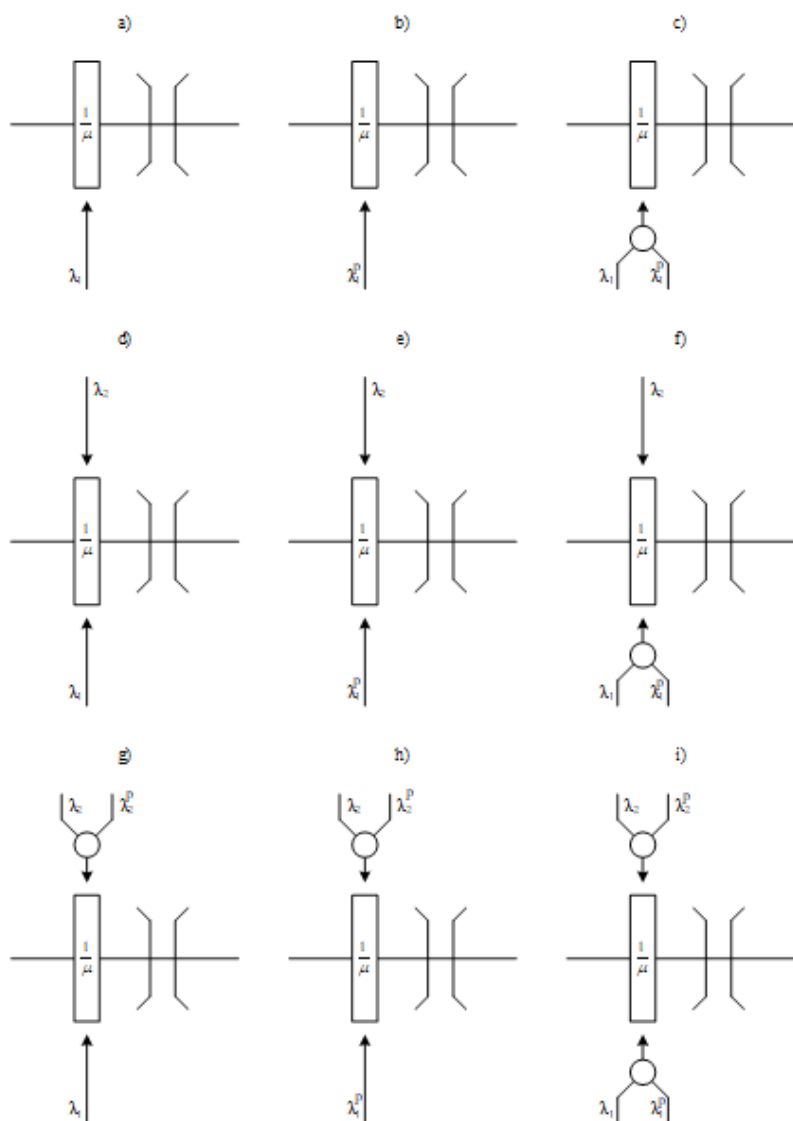
The operation of an overbridge with one and two tunnels is determined by the peculiarities

of formation of flows of vehicles interested in its use on both sides of the overpass from the side of the highway. In fact, the proposed technical solution is either a single-channel or two-channel queuing system (QS) [13; 14].

With both options of organizing an overbridge for road transport, its operation is restrained during the periods when the level crossing is open for road traffic, when there are no road traffic accidents that impede the passage through the railway, etc. It is practicable to consider QS only in the periods from level crossing closure till its opening for road traffic. More precisely, from some forecast moment, which allows to activate the work of the overbridge for road transport in advance. There is also a case when during traffic jam at the level crossing overbridge can be operated to meet a high-priority application, but this case is proposed not to be considered in view of the absence of classical QS in this case, since in case of a traffic jam, a high-priority application can be served instantly, and simultaneous arrival of high priority vehicles at both sides of the overpass are unlikely. However, in this case, the technical solution will do its job, skipping first a transport object, then the second one.

Applications regarding the considered technical object «overbridge for road transport» at time of its operation, in the most general case, have the following parameters:

- applications with the same priority and intensities λ_1 and λ_2 arrive from both sides of the overbridge.
- on both sides, a high-priority application with intensity λ_1^p and λ_2^p is possible.
- average service time of each application is determined by time parameters of a vehicle's ascent, its movement over the railway bed and



Pic. 5. Scenarios of queuing at a two-way overbridge [prepared by the authors].

descent, and is expressed in the general case by the value $\frac{1}{\mu}$.

Let us consider two versions of scenarios of queuing near the overbridge when it is intended for two-way, and for one-way traffic (with the possibility of reversing).

Pic. 4 shows the symbols.

Let us describe the case of a two-way overbridge (Pic. 5). First, we will assume that the cases of considering flow from each side are equivalent and exclude from consideration one of «symmetric options» (for example, when there is a flow on only one side or only on the

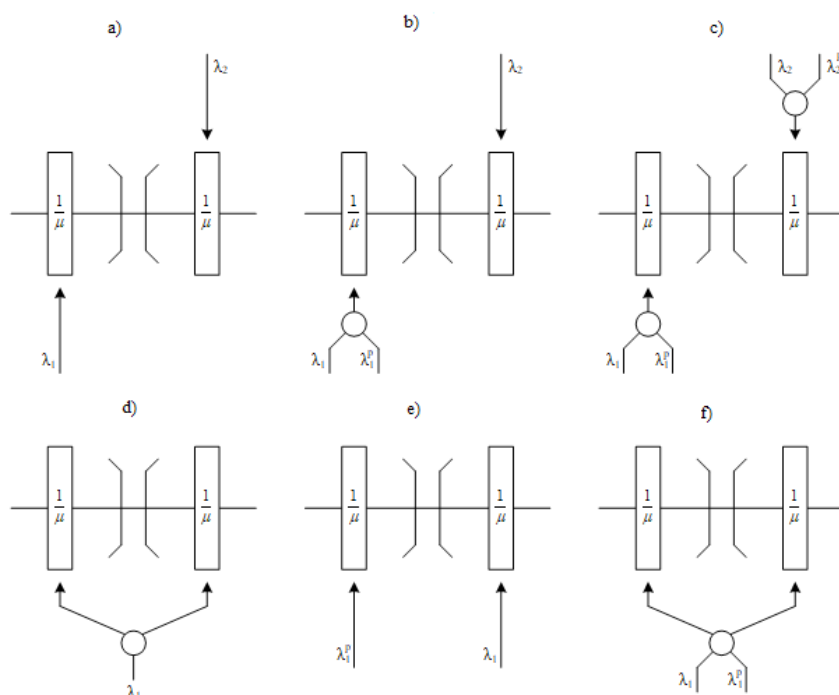
other side). Then nine different situations can be distinguished.

The first scenario shown in Pic. 5a, characterizes the case when a queue of low-priority applications is formed only on one side of the overbridge.

The second scenario (Pic. 5b) describes the case of a high-priority application from one side of the overbridge in the absence of traffic from the other (in fact, it is similar to the first scenario).

The third scenario (Pic. 5c) describes the situation of formation of both low-priority and high-priority applications from one side of the





Pic. 6. Scenarios of queuing at a one-way (reversible lane) overbridge [compiled by the authors].

overbridge in the absence of traffic from the other.

The fourth scenario (Pic. 5d) characterizes the situation when low-priority applications are formed on both sides of the overbridge. This case seems to be the most interesting. In case of formation of applications from both sides of the overbridge, it is required to establish a priority for the traffic from either side. This priority can be set based on the number of applications and constraints regarding the operating time τ . We can suppose that traffic lights are installed on both sides of the overbridge to regulate queuing. Then it is advisable, considering time τ , to adjust the operation of traffic lights in such a way that during time τ the same number of cars will pass in both directions. In this case, for a small value of τ , the priority of one of the queues can be selected and the green light for this queue can be turned on for time $\left(\frac{\tau}{2} - \frac{1}{\mu}\right)$ and for the same time it then can be turned on for the second queue. If time τ is so short that only a small number of cars can be allowed to pass, the traffic priority should be set according to the preliminary applications of drivers. If time τ is long (exceeds 10–20 minutes), then the traffic

lights can be switched several times, keeping the total travel time in each direction as $\frac{\tau}{2}$.

The fifth scenario (Pic. 5e) shows the presence of two streams of applications on both sides of the overbridge, one of which is high-priority, the second is low-priority. In this case, high priority applications are served separately. It should be noted that within the flow of high-priority applications there may be own priorities, however, it is advisable not to consider them, assessing only the possibilities of total operation of the overbridge according to this scenario.

The sixth and seventh scenarios (Pic. 5f, g) describe identical situations when low-priority applications are formed on one side of the overpass, and low- and high-priority applications on the other. In this case, priority is given to high-priority applications, and once they are fulfilled, the overpass begins to operate according to the fourth scenario already discussed above.

The eighth scenario (Pic. 5h) describes a situation similar to the previous two situations, with the only exception that high-priority applications are formed on both sides of the overbridge, but low-priority applications are

also formed at one side. In this case, first, high-priority applications are executed from both sides, and then – low-priority applications from that given side. When high-priority applications are executed, the flows can be considered equivalent, and the execution of applications can be further based on the queue length with the corresponding service time for each application.

The ninth scenario (Pic. 5i) covers the most common case of formation of both types of applications at both sides of the overpass. Operation is similar to the algorithm described above for serving high priority applications from both sides and low priority applications from both sides.

While Pic. 5 shows scenarios for formation of applications to use overbridge with two-way traffic, Pic. 6 shows scenarios for formation of applications for a one-way road overbridge (with the possibility of reversing traffic). We can say that this option for organizing the overpass can be considered based on individual cases of the first option. For this reason, no additional description might be provided.

The calculation of the given QS can be carried out by means of simulation (not presented in this work).

Additional functionality of the road overbridge

The car lift type road overbridge is a unique technical solution that allows to integrate convenient means of crossing railways into the areas with an already established infrastructure. The technical solution itself can not only be implemented with a design that fits perfectly and does not violate the main «line» of the landscape, but also be provided with developed functionality that allows you to make not just a structure for solving a single task, but also to build a multipurpose facility. The buildings and objects of transport infrastructure should long ago cease to be considered only as static objects, «tuned» purely to solve a single narrow problem. They should be considered as objects created by man for ease of use, minimization of costs of both time and money, to increase the efficiency of operation of the transport complex and to obtain more comfortable use of the transport system by the end user. Technical objects should be as close as possible in their properties to the properties of living objects from the biological world and endowed with some «technical senses»: «technical

hearing», «technical vision», «technical intelligence». In addition, it is necessary to achieve maximally «green» technical solutions using alternative energy sources, classifying energy consumers, and implementing such technical solutions that have a reduced carbon footprint [15].

The proposed «simplified» copy of the technical solution of Elon Musk company is a basic system that can be easily expanded and enlarged to a multifunctional complex with the following features:

- The roof of the complex is covered with solar panels to organise energy supply not only from the local power grid, but also from an alternative source, and in fact the structure itself is a «micro-power plant» with energy storage devices (it is quite possible that there will be enough energy to power the automation objects, as well as neighbouring residential buildings).

- It is possible to combine its functions with electric charging for modern electric vehicles from sources of «micro-power plant».

- Diagnostic equipment can be installed under the floor of the structure respecting clearance conditions for rolling stock traffic to check the workload of wagons, the state of the contact network (if the road is electrified).

- Equipment for monitoring the integrity of wagon seals, recognition of wagon numbers, flaw detection of axle boxes can be installed on the sides of the structure (it is possible to use the technology of surface acoustic waves for monitoring).

- In the area of intersection of the road and railway (at the level crossing itself), devices for control, technical diagnostics and monitoring of the state of the level crossing, etc., are installed.

Such functionality makes it possible to integrate into a single facility a complex technical «organism» that solves various tasks and ensures the fault tolerance, safety of the transport system, and comfort of movement of car users.

Conclusion

The implementation of road overbridges in «critical zones» of the intersection of roads and railways can significantly optimise traveling in large cities and regions with an established infrastructure. At the same time, it is possible to integrate the technical solution with mobile



applications and navigation services in such a way that queues for using the overbridges are formed in advance and considered for routing and route optimisation purposes. The social effect of the use of car lift type road overbridges in the conditions of dense urban development in modern cities can also be of great importance.

The proposed solutions can be either separate mobile applications or integrated services as part of existing navigation and banking systems. Such integration makes it possible to simplify the user's interaction with the transport system, reduce time spent on operations, provide more comfortable travel, and, ultimately, optimise user's time and financial costs.

It should be emphasized once again that car lift type road overbridges are not a mass technical solution, but a toll increase in comfort of transportation and a means allowing prompt passage of emergency vehicles. In addition, such a technical solution, having modular design and suitable for rapid deployment, can be useful for long-term planned work, for example, related to reconstruction of crossings, their closure for a long time, etc. The presented structure for one- and two-track railway lines can be erected as simply as possible. The travel time is determined by a value $\frac{1}{\mu}$ that depends

significantly on the types of car lifts installed, speed of entering the lift, ascending, driving along the corridor, descending, and exiting the lift and, according to preliminary estimates, should not exceed 1 minute. To avoid long queuing, it is advisable to provide possibility to pre-book the service; in some cases, to optimise location of vehicles, it is advisable to build specially equipped waiting lots in front of car lift. All this, of course, requires further detailed study, considering building conditions directly at a construction site and economic effect calculated additionally (which is influenced by capital investments, service costs, user demand, the ability to attract advertisers when using mobile applications, etc.).

In conclusion, it should also be noted that the suggested technical solution might be met with caution by specialists responsible for making decisions on the construction of innovative transport facilities, and will quite naturally require further study, but merits attention thanks to its potential positive effects.

REFERENCES

1. Efanov, D., Lykov, A., Osadchy, G. Testing of Relay-Contact Circuits of Railway Signalling and Interlocking. Proceedings of 15th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2017), Novi Sad, Serbia, September 29–October 2, 2017, pp. 242–248. DOI: 10.1109/EWDTS.2017.8110095.
2. Khoroshev, V. V., Efanov, D. V., Osadchy, G. V. The concept of fully connected monitoring of the infrastructure of crossings [*Kontseptsiya polnosvyaznogo monitoringa infrastruktury poezdov*]. *Transport Rossiiskoi Federatsii*, 2018, Iss. 1, pp. 47–52.
3. Report on Railway Safety and Interoperability in the EU. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020, 113 p.
4. Enhancing Level Crossing Safety 2019–2029. A Long-Term Strategy Targeting Improved Safety on Great Britain's Railway. London, NetworkRail, 2019, 35 p.
5. New schedule for closing the railway crossing in Kolpino [*Novoe raspisanie zakrytiya zh/d pereezda v Kolpino*]. [Electronic resource]: <http://kolpinonews.ru/news/14345>. Last accessed 02.07.2020.
6. Astratov, O. S., Filatov, V. N. Video sensors in the traffic safety system at a railway crossing [*Videodatchiki v sisteme obespecheniya bezopasnosti dvizheniya na zheleznodorozhnom pereезде*]. *Datchiki i sistemy*, 2015, Iss. 2, pp. 33–37.
7. Samaranayake, P., Matawie, K. M., Rajayogan, R. Evaluation of Safety Risks at Railway Grade Crossings: Conceptual Framework Development. 2011 IEEE International Conference on Quality and Reliability, 14–17 September 2011, Bangkok, Thailand, pp. 125–129. DOI: 10.1109/ICQR.2011.6031694.
8. Busse, R. Increased Network Availability with the Intelligent Operation of Level Crossing Protection Systems. *Signal+Draht*, 2020, Iss. 10, pp. 11–17.
9. Efanov, D., Plotnikov, D., Osadchy, G. Prognosis Service for Navigation Systems Regarding Time Parameters of Railroad Crossing. Proceedings of 16th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2018), Kazan, Russia, September 14–17, 2018, pp. 201–208. DOI: 10.1109/EWDTS.2018.8524770.
10. Efanov, D. V. Digital railway crossing [*Tsifrovoy zheleznodorozhnyi pereezd*]. *Avtomatika, svyaz, informatika*, 2018, Iss. 11, pp. 11–15.
11. Gorman, S. Elon Musk unveils his first Los Angeles-area tunnel. [Electronic resource]: <https://www.reuters.com/article/us-musk-tunnel/elon-musk-unveils-his-first-los-angeles-area-tunnel-idUSKBN1O103W>. Last accessed 03.07.2020.
12. Musk opened a high-speed underground tunnel near Los Angeles [*Mask otkryl skorostnoi podzemnyy tunnel pod Los-Andzhelesom*]. [Electronic resource]: <https://newizv.ru/news/world/19-12-2018/mask-otkryl-skorostnoy-podzemnyy-tunnel-pod-los-andzhelesom>. Last accessed 03.07.2020.
13. Gortsev, A. M. Two-channel system of queuing, service with the transition of requirements from one queue to another [*Dvukhkanalnaya Sistema massovogo, obsluzhivaniya s perekhodom trebovaniy iz odnoi ocheredi v druguyu*]. *Avtomatika i telemekhanika*, 1981, Iss. 6, pp. 189–192.
14. Bubnov, V. P., Sergeev, S. A. Non-stationary models of the local server of the automated monitoring system of artificial structures [*Nestatsionarnie modeli lokalnogo server avtomatizirovannoi sistemy monitoring iskusstvennykh sooruzhenii*]. *Proceedings of SPIRAS*, 2016, Iss. 2 (45), pp. 102–115.
15. Efanow, D. W., Osadtschiy G. W. Energy Efficiency Categories for Safety Installations. *Signal+Draht*, 2020, Vol. 112, Iss. 4, pp. 36–42. ●



АВТОМАТИКА 110

Дистанционный мониторинг локомотивов

ГОРОДСКОЙ ОБЩЕСТВЕННЫЙ ТРАНСПОРТ 122

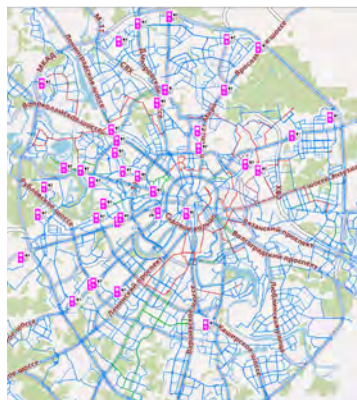
Перевозка пассажиров по социальному стандарту.

КАЧЕСТВО УСЛУГ 140

Оценка сайта грузоперевозчика глазами клиента.

МАРШРУТИЗАЦИЯ 152

Особенности организации маршрутов электробусов.



AUTOMATICS 116

Remote monitoring of locomotives.



URBAN PUBLIC TRANSPORT 131

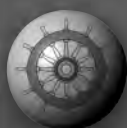
Passenger transportation based on social standards.

QUALITY OF SERVICE 146

Evaluation of a website of a carrier by customers.

ROUTING 162

Features of planning the routes for electric buses.

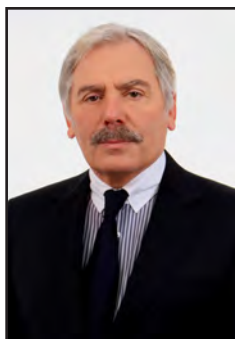




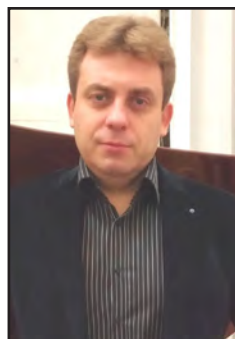
Система дистанционного мониторинга технических объектов



Анатолий КОРОТКИЙ



Александр ДЕМЬЯНОВ



Алексей ДЕМЬЯНОВ

Короткий Анатолий Аркадьевич – Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия.

Демьянов Александр Анатольевич – Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия.

Демьянов Алексей Александрович – Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия.*

В настоящее время цифровизация, внедряемая во все сферы деятельности человека, включая и транспортные процессы, требует оперативности в получении и обработке информации, а также своевременности принимаемых на её основе решений. Современная система эксплуатации железнодорожного тягового подвижного состава характеризуется отсутствием онлайн-информации о текущем техническом состоянии и остаточном ресурсе его составных частей для принятия решения.

В статье предлагается решать проблему посредством внедрения в сферу эксплуатации тягового подвижного состава адаптивной системы дистанционного онлайн-мониторинга технических параметров эксплуатируемых объектов. Адаптивная система содержит программное обеспечение, относящееся к рекомендательным системам принятия решений. Отличительной чертой системы является наличие элементов искусственного интеллекта, который самообучается путём комбинаторной обработки исторической базы данных об эксплуатации данного или аналогичного технического объекта и соответствующих им текущих эксплуатационных показателей.

Предлагаемый алгоритм обработки информации отличается универсальностью и в принципе может работать с разно-

образными источниками данных, в том числе и с существующими устройствами безопасности тягового подвижного состава. Онлайн-мониторинг технических параметров эксплуатируемых объектов может быть распространён и на грузопассажирский подвижной состав, и на сопутствующие вспомогательные устройства (путевые машины, краны, горочные замедлители и т.д.).

На основе анализа получаемой информации программное обеспечение формирует и передаёт рекомендации по текущим неотложным действиям для руководящих работников и обслуживающего персонала.

Кроме того, предлагаемая технология даёт возможность предсказывать признаки аварийности эксплуатируемых объектов в режиме реального времени, что позволяет облегчить процесс диагностики и оптимизировать организацию технического обслуживания, снизить себестоимость содержания подвижного состава, повысить безопасность перевозочного процесса.

Рассматриваемая в статье адаптивная система дистанционного онлайн-мониторинга эксплуатационной безопасности технических объектов на основе риск-ориентированного подхода является уникальной разработкой, не имеющей аналогов.

Ключевые слова: железная дорога, дистанционный мониторинг, искусственный интеллект, безопасность, прогнозирование риска, локомотивы.

Информация об авторах:

Короткий Анатолий Аркадьевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации транспортных систем и логистики Донского государственного технического университета, Ростов-на-Дону, Россия, korot@novoch.ru

Демьянов Александр Анатольевич – доктор технических наук, профессор кафедры эксплуатации транспортных систем и логистики Донского государственного технического университета, Ростов-на-Дону, Россия, a11exandr@yandex.ru

Демьянов Алексей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации транспортных систем и логистики Донского государственного технического университета, Ростов-на-Дону, Россия, alexys61@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 23.07.2020, принята к публикации 23.10.2020.

For the English text of the article please see p. 116.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ материалов, определяющих стратегические перспективы развития мировой отрасли железнодорожного транспорта, показывает, что при прочих равных условиях ключевым трендом является создание «цифровой железной дороги» [1–3]. Однако процесс перехода к безлюдной технологии должен быть поэтапным, путём эволюционного исключения человека из участия в процессе диагностирования и последующего принятия субъективного решения. При этом необходимо учитывать, что ключевой подсистемой в структуре железных дорог является подвижной состав в целом и тяговый подвижной состав в частности.

Так, например, стратегия научно-технического развития холдинга РЖД включает в приоритетных направлениях разделы, связанные с цифровой трансформацией холдинга, то есть с созданием «цифровой железной дороги» на основе методов искусственного интеллекта при общей направленности на использование российских программных и аппаратных средств [4; 5].

Что касается тягового подвижного состава, то в контексте этой стратегии сформулированы требования к нему как объекту цифровой железной дороги, заключающиеся в реализации технологии «умный локомотив». Причём при реализации онлайн-технологии должны быть созданы условия, позволяющие аккумулировать и анализировать значительные информационные массивы, передаваемые от объектов инфраструктуры и локомотива. Всё это, в свою очередь, должно создавать возможность оперативного принятия решений по эксплуатации тягового подвижного состава и технологического оборудования [4].

Однако, реализация онлайн-железнодорожных технологий как в Российской Федерации, так и за рубежом связана с решением целого ряда проблем, основные тенденции преодоления которых были сформулированы в материалах ОАО «РЖД» [6]. Эти выводы можно дополнить анализом систем обслуживания локомотивов, выполненным авторами [7].

В настоящее время в области эксплуатации и ремонта тягового подвижного состава ОАО «РЖД» на уровне производственных участков сложилась ситуация, связанная

с несвоевременностью получения информации о техническом состоянии, прогнозируемых неисправностях и остаточном ресурсе составных частей устройств безопасности локомотивов при его постановке на плановое техническое обслуживание и ремонт [6].

Это объясняется тем, что основным средством для обеспечения безопасности движения поездов на сети железных дорог России и стран СНГ являются комплексные или локальные локомотивные устройства безопасности, например, «БОРТ», «КЛУБ», «САУТ», «БЛОК» и т.д. Такие устройства устанавливаются на локомотиве и выполняют следующие основные функции:

- приём по маршруту следования информации об ограничениях скорости;
- определение по сигналам навигационных систем координат текущего нахождения подвижного состава;
- непрерывный контроль скоростных параметров локомотива и осуществление экстренного торможения при необходимости;
- приём информации о сигналах путевых светофоров с исключением проезда на запрещающий;
- исключение неуправляемого движения локомотива;
- контроль работоспособности машиниста и т.д.

В большинстве случаев регистрируемые параметры работы локомотива в процессе эксплуатации записываются на съёмный носитель информации, который по окончании поездки сдаётся в отдел расшифровки эксплуатационного локомотивного депо своей приписки. После расшифровки данных выявленные замечания вносятся в автоматизированную систему нарушений безопасности движения, на что уходит от 3-х до 5-ти суток, и после поступают специалистам производственных участков, формирующим информацию для исполнительного персонала о необходимости дополнительной проверки узлов и агрегатов локомотива [6].

Очевидно, что такой подход не позволяет оперативно отслеживать нарушения в нормальной работе узлов тягового подвижного состава и заблаговременно устранять причины вероятного отказа. Фактически получается, что на техническое обслужива-



живание и ремонт тяговый подвижной состав направляется после зафиксированного отказа в работе узлов, а не заблаговременно, до его возникновения.

В таких условиях риск возникновения отказов технических средств локомотива сопровождается рисками ущерба от задержек движения поездов, а при возникновении отказа на маршруте последствия могут быть и более серьёзными.

Анализ сложившейся ситуации с учётом требований [6] позволяет выделить основные признаки потенциального решения сложившейся проблемы онлайн-мониторинга:

- сокращение времени на выявление, устранение и расследование причин сбоев в работе устройств безопасности;
- прогнозирование вероятности отказа конкретного узла или детали в зависимости от его текущего технического состояния;
- обеспечение требований безопасности движения поездов за счёт предупреждения выхода на линию тягового подвижного состава с потенциально неисправными устройствами;
- снижение количества отказов и сбоев в работе локомотивных узлов и устройств безопасности за счёт их превентивного обслуживания;
- автоматизация процесса сбора и анализа полученных с подвижного состава данных с последующим формированием рекомендательных решений для обслуживающего персонала.

Таким образом, сущность решаемой проблемы применительно к тяговому подвижному составу состоит в повышении безопасности движения за счёт прогнозируемой вероятности предотказного состояния узлов локомотива, оценки риска его дальнейшей эксплуатации и генерации рекомендуемых действий по его техническому обслуживанию.

Исходя из вышесказанного, процесс поиска рационального решения, очевидно, должен происходить при следующих ограничениях:

- оборудование должно устанавливаться на тяговом подвижном составе и обеспечивать непрерывную диагностику его состояния;
- программное обеспечение должно быть совместимо с существующими систе-

мами контроля тягового состава и автоматизированными системами транспортной компании, собирающими и обрабатывающими техническую информацию о подвижном составе;

- тяговый подвижной состав должен быть оборудован сенсорами;
- внедрение *онлайн-мониторинга* не должно приводить к увеличению численности обслуживающего персонала или трудоёмкости обслуживания;
- в сложившихся макроэкономических условиях предлагаемое оборудование должно обладать высокой конкурентоспособностью.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для решения вышеописанной проблемы предлагается адаптивная система, позволяющая на основе риск-ориентированного подхода и IT-технологий осуществлять дистанционный мониторинг эксплуатационной безопасности технических объектов [8–11] и состоящая из аппаратной и программной частей, которые позволяют в режиме реального времени собирать в единую базу информацию:

- о текущих эксплуатационных параметрах объекта;
- об остаточном ресурсе составных частей объекта;
- о состоянии локальных систем безопасности самого объекта;
- о вероятности развития аварийных ситуаций.

Предлагаемое программное обеспечение относится к рекомендательным системам принятия решений при управлении техническими объектами и обладает элементами искусственного интеллекта, который самообучается путём комбинаторного взаимодействия исторической базы данных об эксплуатации данного (или аналогичного) технического объекта (включая признаки аварийности) и соответствующих им текущих эксплуатационных показателей. Следует отметить, что алгоритм расчёта риска аварий динамически корректируется.

На основе анализа получаемой информации программное обеспечение формирует и передаёт рекомендации к текущим неотложным действиям для руководящих работников и обслуживающего персонала

в виде приложений на их стационарные и мобильные устройства.

Всё это в приложении к тяговому подвижному составу позволяет в режиме реального времени:

- дистанционно формировать план мероприятий по техническому обслуживанию подвижного состава в зависимости от его текущего состояния;
- проводить ежедневную лингвистическую проверку работоспособности всех контролируемых систем подвижного состава и передавать информацию в базу данных соответствующей службы и на мобильные устройства машинистов, диспетчеров и представителей управляющего звена с возможностью визуализации в виде шкалы цветовых индикаторов;
- формировать в автоматическом режиме рекомендации по оценке вероятности аварий подвижного состава в зависимости от его текущего состояния, с передачей в соответствующие службы организации;
- собирать сведения о нарушении требований нормативных документов обслуживающим персоналом, предусмотренных должностными и производственными инструкциями, с передачей на мобильные и стационарные устройства соответствующих служб, машинистов, диспетчеров и представителей управляющего звена;
- обрабатывать информацию с существующих и дополнительно устанавливаемых на подвижной состав сенсоров.

Алгоритм и комплекс критериев, характеризующих уровень безопасности объекта во времени, адаптируются к базам данных, обновляющимися в соответствии с выявленными причинами аварий и инцидентов при эксплуатации других объектов. Иными словами, реализуется интеллектуальная система, позволяющая осуществить переход из неструктурированного многомерного нечёткого пространства показателей, характеризующих текущее состояние безопасности объекта, к одному интегральному показателю в виде цветовой гаммы [9–12].

Пределы отклонения текущих интегральных показателей от их «оптимальных» значений разбивают, например, на три области по прогнозируемой величине u и риска аварии, используя шкалу цветных индикаторов. Если значения текущих показателей изменяются в области оптималь-

Таблица 1

Оценка риска аварии при эксплуатации объекта	Индикаторы риска	
Допустимый уровень риска – обычный режим эксплуатации (зелёный)		$u \leq u_{\min}$
Повышенный уровень риска – режим эксплуатации при повышенном контроле (жёлтый)		$u_{\min} < u < u_{\max}$
Высокий уровень риска – эксплуатация запрещена (красный)		$u > u_{\max}$

ных значений, прогнозируемая величина индикатора риска перемещается в жёлтую зону ($u_{\max} < u < u_{\min}$), при достижении аварийных значений – в красную ($u > u_{\min}$) и соответственно в зелёную при отсутствии риска аварии $u \leq u_{\min}$. Шкала индикаторов приведена в табл. 1.

К этому следует добавить, что поскольку охватить сенсорами контроля весь комплекс диагностических параметров, характеризующих эксплуатационную безопасность технических объектов, не представляется возможным, то при лингвистической диагностике ключевым фактором становится использование человеческого интеллекта, то есть учитываются знания, умения, навыки и опыт обслуживающего и контролирующего персонала [9–12]. Разработанные мероприятия обеспечивают возможность сравнивать текущую информацию о состоянии выбранного объекта с данными об аварийных ситуациях на аналогичных объектах, а также с изменениями, внесёнными в нормативную документацию.

Таким образом, особенностью предлагаемой системы является способность интегрировать антропоморфные и машинные процессы сбора и обработки информации в режиме реального времени с использованием набора алгоритмов на базе нейронных сетей, то есть с применением технологий искусственного интеллекта. Основным результатом работы системы является сбор и анализ всей доступной информации с оценкой рисков и формированием информационно-рекомендательного сопровождения принятия решения оператором [8–12].

Разработанная адаптивная система дистанционного мониторинга отличается универсальностью и может применяться





Рис. 1. Схема взаимодействия программной и аппаратной частей рекомендательной системы безопасности в локомотиве:
 1 – локомотив, оснащённый системой КЛУБ;
 2 – база данных; 3 – центральный сервер;
 4 – веб-сайт; 5 – программное Web-приложение;
 6 – результаты оценки риска в цветовой гамме; 7 – локомотивная бригада (машинист-инструктор); 8 – инспектор-приёмщик ЦТ ОАО «РЖД»; 9 – заводской инспектор ЦТА ОАО «РЖД»; 10 – ревизоры региональной и центральной структуры ОАО «РЖД».

в широком спектре промышленных объектов, включая транспорт: канатный, автомобильный, водный, воздушный и железнодорожный [13; 14].

Применительно к тяговому подвижному составу система может использоваться совместно с широко применяемыми в настоящее время системами безопасности, например, «БОРТ», «КЛУБ», «САУТ», «БЛОК» и т.д.

К основным результатам обучения нейронных сетей на основе предложенной технологии с использованием лингвистических и функциональных критериев диагностирования в локомотиве, оборудованному, например, системой «КЛУБ» [15], можно отнести:

- повышение достоверности дистанционного контроля;
- повышение качества и своевременности формирования рекомендаций по техническому обслуживанию;
- оптимизацию процесса технического обслуживания за счёт прогнозирования сроков и трудоёмкости планируемых работ по обслуживанию локомотивов;
- общее снижение аварийности при эксплуатации;
- сокращение численности персонала и инспекторского состава и, как следствие, расходов на их содержание.

Предлагаемая технология позволит обеспечить распознавание аварийных факторов, связанных с контролем скоростного режима, самопроизвольным движением, индикацией сигналов светофоров и т.д., применительно к различным режи-

мам движения (трогание с места, движение по магистрали, маневровый режим, буксование и т.д.), и прочими показаниями приборов безопасности, штатно устанавливаемых на локомотивы. На рис. 1 схематично изображено взаимодействие структурных составляющих предлагаемой адаптивной системы безопасности, содержащей аппаратную и программную части.

Такой подход позволяет реализовать дистанционный мониторинг устройств локомотива с использованием мобильных приложений, путём постоянного обучения нейронной сети по историческим данным приборов комплекса «КЛУБ», с учётом динамики изменения этих данных в процессе эксплуатации.

Таким образом, применительно к тяговому подвижному составу, предлагаемый концептуальный подход может быть реализован для сбора и анализа оперативной информации о текущем и предсказанных состояниях составных частей локомотива, а также для оценки риска их дальнейшей эксплуатации, в том числе рекомендуемых действий по их техническому обслуживанию. Например, локомотивная бригада с использованием лингвистических и функциональных критериев диагностики, согласно инструкции (распоряжение № 2070/р) [16], может оценить состояние электроваза в рамках технического обслуживания ТО-1 при приёмке, а именно:

- проверить установку элементов тормозной и демпфирующей систем;
- осмотреть затяжку резьбовых соединений в предохранительных устройствах;
- проверить наличие смазки на трущихся поверхностях;
- проверить работу пантографа;
- осмотреть состояние тягового электродвигателя и вспомогательных систем;
- проверить работу осветительных и звуковых устройств;
- проверить наличие песка и работу устройств пескоподдачи;
- проверить уровень масла в тяговом трансформаторе;
- проверить правильность показания рабочих и аварийных приборов;
- проверить работу аккумуляторной батареи;
- и т.д.

При этом результаты проверки в режиме реального времени будут обрабатываться и передаваться в базу данных центрального сервера системы через сеть Интернет.

Исходя из вышесказанного, можно говорить о возможности использования такого подхода в приложении к пассажирским вагонам, мотор-вагонному подвижному составу, тяжёлым путевым машинам, горочным замедлителям и т.д.

Предложенная технология апробирована в Кавказском управлении Ростехнадзора при проведении комплексных мероприятий, связанных с предупреждением внештатных ситуаций на объектах второго и третьего классов опасности и, в частности, при контроле над системой безопасности на башенном кране КБ-408.21. Кран был установлен в индустриальном парке ООО «Мастер», принадлежащем корпорации ПАО «КамАЗ». Таким образом, эта технология была апробирована на технических объектах, имеющих разное функциональное назначение и конструктивное исполнение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассматриваемая в статье адаптивная система дистанционного мониторинга эксплуатационной безопасности технических объектов на основе риск-ориентированного подхода является уникальной российской разработкой, не имеющей аналогов [8].

Универсальность данной технологии контроля позволяет обрабатывать по заданному алгоритму данные, поступающие от широкого спектра промышленных объектов.

Применительно к тяговому подвижному составу предлагаемая технология машинного обучения позволит повысить фактическую безопасность движения за счёт повышения уровня прогнозирования вероятности отказа его узлов, оценки риска его дальнейшей эксплуатации и генерации рекомендуемых действий по его техническому обслуживанию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гапанович В. Цифровая железная дорога: настоящее и будущее – Гудок, выпуск № 152 (26057). [Электронный ресурс]: <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1348652>. Доступ 21.09.2020.

2. Розенберг Е. Н. Развитие цифровых систем управления и обеспечения безопасности движения поездов. Евразия Вести. – XII, 2018. [Электронный ресурс]: <http://www.eav.ru/publ1.php?publid=2018-12a08>. Доступ 21.09.2020.

3. Безопасность железных дорог из открытых источников. [Электронный ресурс]: <https://habr.com/ru/company/dsec/blog/306182/>. Доступ 21.09.2020.

4. Стратегия научно-технического развития холдинга «РЖД» на период до 2025 года и перспективу до 2030 года (Белая книга), утверждённая распоряжением ОАО «РЖД» № 769/р от 17.04.2018 г. [Электронный ресурс]: https://zszd.rzd.ru/dbmm/download?vp=17&load=y&col_id=121&id=18071. Доступ 21.09.2020.

5. Чаркин Е. Стратегия цифровой трансформации РЖД. [Электронный ресурс]: <https://www.tadviser.ru/index.php>. Доступ 21.09.2020.

6. Единое окно инноваций РЖД. [Электронный ресурс]: <https://innovation.rzd.ru/Ex/Claim/View/106>. Доступ 21.09.2020.

7. Осяев А. Т., Никифоров В. Л. О системе обслуживания локомотивов за рубежом // Вестник ВНИИЖТ. – 2012. – № 5. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18028384>. Доступ 21.09.2020.

8. Лагерева А. В., Кинжибалов А. А., Панфилов А. В., Короткий А. А. и др. Пат. № 2682020 РФ. Способ дистанционного контроля безопасности при эксплуатации объекта на базе цифровых информационно-технологических систем / Оpubл. 14.03.2019 г., бюл. № 8.

9. Дерюшев В. В., Сидельникова Е. Г. Обобщённый показатель достаточности для оценивания технического состояния строительной и подъёмно-транспортной техники // Научное обозрение. – 2013. – № 9. – С. 164–167.

10. Арташесян А. А. Алгоритм машинного обучения на основе анализа малых выборок. Материалы междунар. науч.-технич. конф. «Строительство и архитектура». – Ростов н/Д: Донской государственный технический университет, 2017. – С. 82–86.

11. Дерюшев В. В., Сидельникова Е. Г. Определение номенклатуры показателей качества строительного и подъёмно-транспортного оборудования // Научное обозрение. – 2014. – № 11–3. – С. 775–777.

12. Панфилов А. В., Дерюшев В. В., Короткий А. А. Рекомендательные системы безопасности для риск-ориентированного подхода // Безопасность труда в промышленности. – 2020. – № 5. – С. 48–55.

13. Короткий А. А., Лагерева А. В., Месхи Б. Ч., Лагерева И. А., Панфилов А. В. Развитие транспортной инфраструктуры крупных городов и территорий на основе технологии канатного метро: Монография. – Ростов н/Д, изд-во ДГТУ, 2017. – 344 с.

14. Трембицкий А. В., Дубровин В. В., Печёркин А. С., Короткий А. А., Иванченко А. Н., Панфилов А. В., Масленников А. А. Применение средств радиочастотной идентификации для повышения уровня промышленной безопасности опасных производственных объектов // Безопасность труда в промышленности. – 2014. – № 9. – С. 68–72.

15. Комплексное локомотивное устройство безопасности КЛУБ-У. [Электронный ресурс]: <https://www.irz.ru/products/20/70.htm>. Доступ 21.09.2020.

16. Распоряжение ОАО «РЖД» от 21 сентября 2018 года N2070/р «О внесении изменений в распоряжения ОАО «РЖД» от 11 августа 2016 года № 1651р и от 30 декабря 2016 года № 2796р и признании утратившими силу некоторых документов ОАО «РЖД». [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/551490971>. Доступ 21.09.2020.

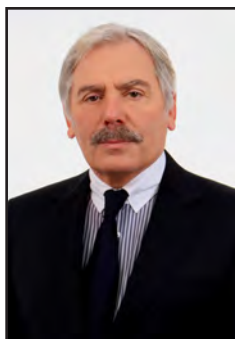




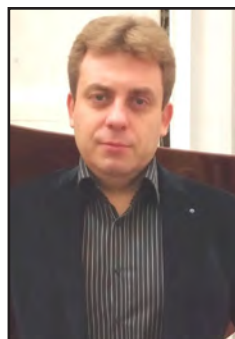
System of Remote Monitoring of Technical Objects



Anatoly A. KOROTKY



Alexander A. DEMYANOV



Alexey A. DEMYANOV

Korotky, Anatoly A., Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia.

Demyanov, Alexander A., Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia.

Demyanov, Alexey A., Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia.*

ABSTRACT

Currently, digitalization, being implemented in all spheres of human activity, including transport processes, requires efficiency in obtaining and processing information, as well as timeliness of decisions made on its basis. The modern system of operation of railway traction rolling stock is characterized by the lack of online information about the current technical condition and the residual life of its components for decision making.

The article proposes to solve the problem by implementing an adaptive system for remote online monitoring of technical parameters of operated objects into the field of traction rolling stock operation. The adaptive system contains software related to recommendation decision support systems. A distinctive feature of the system is the presence of elements of artificial intelligence, which self-learns by combinatorial processing of the historical database on operation of this or a similar technical object and current performance indicators corresponding to them.

The proposed information processing algorithm is versatile and, in principle, can work with a variety of data sources, including existing traction rolling stock safety devices. Online monitoring of technical parameters of operated objects can be extended to both cargo-passenger rolling stock and related auxiliary machinery and devices (track machines, cranes, hump retarders, etc.). Based on the analysis of the information received, the software generates and transmits recommendations regarding current urgent actions for managing staff and maintenance personnel.

In addition, the proposed technology makes it possible to predict indicators of accidents at operated objects in real time, providing an opportunity to facilitate the diagnostic process, optimize organisation of maintenance, reduce the cost of maintaining rolling stock, and increase safety of the transportation process.

The adaptive system of remote online monitoring of operational safety of technical objects, considered in the article, through a risk-based approach, is a unique development that has no analogues.

Keywords: railway, remote monitoring, artificial intelligence, safety, risk prediction, locomotives.

*Information about the authors:

Korotky, Anatoly A. – D.Sc. (Eng), Professor, Head of the Department of Operation of Transport Systems and Logistics of Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia, korot@novoch.ru.

Demyanov, Alexander A. – D.Sc. (Eng), Professor at the Department of Operation of Transport Systems and Logistics of Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia, a1lexandr@yandex.ru.

Demyanov, Alexey A. – Ph.D. (Eng), Associate Professor of the Department of Operation of Transport Systems and Logistics of Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia, alexys61@yandex.ru.

Article received 23.07.2020, accepted 23.10.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 110.

Background. The analysis of materials that determine the strategic prospects for development of the global railway transport industry shows that, all other things being equal, the key trend is associated with creation of the «Digital Railway» [1–3]. However, the process of transition to the unmanned technology should be a step-by-step process, through the evolutionary exclusion of a person from participation in the diagnosis process and subsequent adoption of a subjective decision. It should be borne in mind as well that the rolling stock in general and particularly traction rolling stock constitute key subsystems in the structure of railways.

So, for example, the strategy of scientific and technological development of Russian Railways holding company includes in its priority areas sections related to digital transformation of the holding company, i.e. creation of «Digital Railway» based on artificial intelligence methods, with a general focus on the use of Russian software and hardware [4; 5].

As for traction rolling stock in the context of this strategy, the requirements for it as an object of a digital railway are formulated, which consist in implementation of the «smart locomotive» technology. Moreover, when implementing online technology, conditions must be created that allow accumulating and analysing massive datasets transmitted from infrastructure facilities and the locomotive. All this, in turn, should create the possibility for prompt decision-making on operation of traction rolling stock and technological equipment [4].

However, implementation of online railway technologies, both in the Russian Federation and abroad, is associated with solution of a number of problems, the main trends of overcoming which were formulated in the materials of JSC Russian Railways [6]. The conclusions there-of can be supplemented by an analysis of locomotive maintenance systems performed by the authors [7].

Current situation in the field of operation and maintenance of traction rolling stock at the workshops of JSC Russian Railways is partially associated with delay in obtaining information about the technical condition, predicted malfunctions and the residual life of components of locomotive safety devices when a locomotive is delivered for scheduled maintenance and repair [6].

This is due to the fact that the main tools for ensuring safety of train traffic on the railway network of the Russian Federation and the CIS countries comprise integrated or local locomotive safety devices, for example, of «BORT», «CLUB» [integrated locomotive safety device], «SAUT» [system for automatic control of braking], «BLOCK» [integrated locomotive safety unit] types, etc. Such devices are installed onboard a locomotive and perform the following main functions:

- Receiving information about speed limits along the route.
- Getting coordinates of current location of rolling stock using signals from navigation systems.
- Continuous monitoring of speed parameters of the locomotive and implementation of emergency braking if necessary.
- Receiving information about railway signals to exclude passing signal at danger.
- Excluding uncontrolled movement of a locomotive.
- Monitoring work capacity of a locomotive driver, etc.

In most cases, the recorded parameters of the locomotive operation during operation are recorded on a removable storage medium, which, at the end of the trip, is handed over to the decoding unit of the locomotive operating (main) depot to which it belongs. After decoding data, the identified comments are entered into the automated system of traffic safety violations, which takes from 3 to 5 days, and then they are sent to specialists of production workshops, who develop information for the maintenance workers about the need for additional checks of locomotive components and units [6].

Obviously, this approach does not allow to quickly track failures in normal operation of traction rolling stock units and to eliminate the causes of a possible failure in advance. In fact, it turns out that traction rolling stock is sent for maintenance and repair after a fixed failure in operation of units, and not in advance, before its occurrence.

In such conditions, the risk of failure of the technical units of the locomotive is accompanied by the risk of damage from delays in train traffic, and if a failure occurs on the route, the consequences may be even more dangerous.

Analysis of the current situation, considering the requirements [6], allows us to highlight the





main features of a potential solution to the current problem of online monitoring:

- Reduction of time for identification, elimination and investigation of the causes of failures in operation of safety devices.
- Forecasting the probability of failure of a specific unit or part, depending on its current technical condition.
- Ensuring safety requirements for train traffic by preventing operation of traction rolling stock with potentially faulty devices.
- Reducing the number of failures and malfunctions in operation of locomotive units and safety devices due to their preventive maintenance.
- Automation of the process of collecting and analysing data obtained from rolling stock with subsequent development of recommended decisions for the maintenance personnel.

Thus, the essence of the problem being solved in relation to traction rolling stock is to increase traffic safety due to the predicted probability of a pre-failure state of locomotive units, assess risks of its further operation and generate recommended actions for its maintenance.

Based on the above, the process of finding a rational solution, obviously, should occur with respect to the following constraints:

- The relevant equipment should be installed onboard the traction rolling stock and provide continuous diagnostics of its condition.
- Software must be compatible with the existing traction stock control systems and

automated systems of the transportation company that collect and process technical information about rolling stock.

- Traction rolling stock must be equipped with sensors.
- Implementation of online monitoring should not lead to an increase in maintenance personnel or the labour intensity of maintenance.
- In the current macroeconomic conditions, the proposed equipment should be highly competitive.

Results.

To solve the problem described above, an adaptive system is proposed that allows, using risk-based approach and IT technologies, to remotely monitor operational safety of technical objects [8–11]. It consists of hardware and software components ensuring collection information in a single database and in real time about:

- Current operational parameters of an object.
- Residual life of component parts of an object.
- State of local safety systems of an object itself.
- Likelihood of emergencies.

The proposed software belongs to recommendation decision support systems for managing technical objects and has elements of artificial intelligence, which self-learns by combinatorial interaction of the historical

Table 1

Accident risk assessment during operation of an object	Risk indicators
Risk is acceptable: ordinary operation mode (green)	$u \leq u_{\min}$
Higher risk rate: operation should be performed under increased control (yellow)	$u_{\min} < u < u_{\max}$
High risk rate: operation is prohibited (red)	$u > u_{\max}$

database on operation of this (or similar) technical object (including risk indicators of accidents) with the current operating indicators corresponding to them. It should be noted that the algorithm for calculating the risk of accidents is dynamically adjusted.

Based on the analysis of the information received, the software generates and transmits recommendations on current urgent actions for managing staff and maintenance personnel in the form of applications at their stationary and mobile devices.

All this, applied to traction rolling stock, allows in real time to:

- Remotely form an action plan for maintenance of rolling stock, depending on its current state.
- Carry out a daily linguistic check of operability of all monitored systems of rolling stock and transfer information to the database of the corresponding division and to mobile devices of drivers, dispatchers and managing employees with the possibility of visualization in the form of a scale of colour indicators.
- Automatically generate recommendations for assessing the probability of rolling stock accidents, depending on its current state, with transfer to relevant division of the organization.
- Collect information on violation of the requirements of regulatory documents by the maintenance personnel, provided for by the work and production instructions, with transfer to mobile and stationary devices of relevant divisions, drivers, dispatchers and managing employees.
- Process information from existing sensors and those additionally mounted onboard a rolling stock.

The algorithm and a set of criteria that characterize the safety rate of an object in time are adapted to databases that are updated in accordance with identified causes of accidents and incidents during operation of other objects. In other words, an intelligent system is being implemented that allows for transition from an unstructured multi-dimensional fuzzy space of indicators

characterizing the current state of safety of an object to a single integral indicator in the form of a colour scale [9–12].

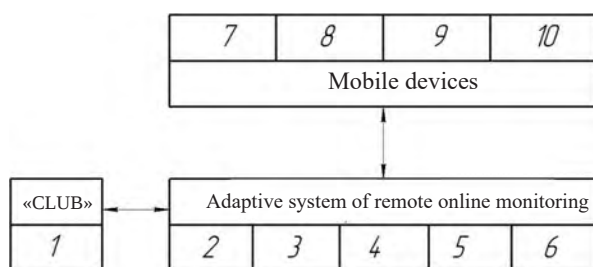
The limits of deviation of the current integral indicators from their «optimal» values are divided, for example, into three areas according to the predicted value u of the accident risk, using a scale of coloured indicators. If the values of the current indicators change within the area of optimal values, the predicted value of the risk indicator should move to the yellow zone ($u_{\max} < u < u_{\min}$), when the emergency values are reached, it is moved into the red ($u > u_{\min}$) zone, and, accordingly, if there is no risk of an accident ($u \leq u_{\min}$) it is moved to the green zone. The indicator scale is shown in the Table 1.

To this it should be added that since it is not possible to cover the entire complex of diagnostic parameters characterizing operational safety of technical objects by monitoring sensors, then in linguistic diagnostics, the use of human intelligence becomes a key factor, that considers knowledge, skills, and experience of maintenance and supervisory personnel [9–12]. The developed measures provide an opportunity to compare the current information about the conditions of the selected object with data on emergency situations occurred with similar objects, as well as with changes made to the regulatory documentation.

Thus, a feature of the proposed system is the ability to integrate anthropomorphic and machine processes of collecting and processing information in real time using a set of algorithms based on neural networks, that is, using artificial intelligence technologies. The main result of the system is collection and analysis of all available information followed by risk assessment and development of information and recommendation support for decision-making by an operator [8–12].

The developed adaptive remote monitoring system is notable for its versatility and can be used in a wide range of industrial facilities,





Pic. 1. Diagram of interaction of software and hardware components of the safety recommendation system as applied to the locomotive: 1 – locomotive equipped with CLUB system; 2 – database; 3 – central server; 4 – website; 5 – software Web application; 6 – results of risk assessment in colours; 7 – locomotive crew (train driver instructor); 8 – inspector of the Traction directorate of JSC Russian Railways; 9 – factory inspector of the Centre of technical audit of JSC Russian Railways; 10 – inspectors of the regional and central structures of JSC Russian Railways.

including cable, road, water, air, and railway transport [13; 14].

Regarding traction rolling stock, the system can be used together with currently widely used domestic safety systems, for example, «BORT», «CLUB», «SAUT», «BLOCK», etc.

The main results of training neural networks based on the proposed technology and using linguistic and functional diagnostic criteria, regarding a locomotive equipped, for example, with a CLUB system [15], include:

- Increased reliability of remote control.
- Improved quality and timeliness of developing of recommendations for maintenance.
- Optimization of the maintenance process by predicting timing and labour intensity of planned maintenance of locomotives.
- General reduction of number of accidents during operation.
- Reduction in the number of personnel and inspectors and, consequently, in the cost of their wages.

The proposed technology will make it possible to ensure recognition of emergency factors associated with speed control, spontaneous movement, indication of signals, etc. in relation to various modes of movement (starting from rest, movement on main line, shunting mode, skidding, and slipping, etc.), and other indications of safety devices that are normally installed onboard a locomotive. The Pic. 1 schematically shows interaction of structural components of the proposed adaptive safety system, containing hardware and software.

This approach allows remote monitoring of locomotive devices using mobile applications, by constantly training the neural network using the historical data of CLUB complex devices,

considering the dynamics of changes in these data during operation.

Thus, as applied to traction rolling stock, the proposed conceptual approach can be implemented to collect and analyse operational information about current and pre-failure states of locomotive components, as well as to assess the risk of their further operation, including the recommended actions for their maintenance. For example, a locomotive crew using linguistic and functional diagnostic criteria, according to the instruction (order No. 2070/r) [16], can assess the condition of an electric locomotive as part of its accepting after maintenance and repair works, namely:

- check the installation of elements of the brake and damping systems;
- inspect tightening of threaded connections in safety devices;
- check the presence of grease on wear surfaces;
- check operation of the pantograph;
- inspect the condition of traction electric motor and auxiliary systems;
- check operation of lighting and sound devices;
- check the presence of sand and operation of sand feeding devices;
- check the oil level in the traction transformer;
- check correctness of readings of work and emergency devices;
- check operation of the storage battery, etc.

The results of the check will be processed in real time and transmitted to the database of the central server of the system via the Internet.

Based on the foregoing, we can talk about the possibility of using this approach when

applied to passenger wagons, multiple-unit trains, heavy track machines, hump retarders, etc.

The proposed technology was tested at the Caucasian Directorate of Rostekhnadzor [Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service] when taking complex actions related to prevention of emergency situations at facilities of the second and third classes of danger, when monitoring the safety system on KB-408.21 tower crane. The crane was installed in the industrial park of LLC Master, owned by the PJSC KamAZ corporation. Thus, this technology has been tested on technical objects with different functional purposes and design.

Conclusion.

The adaptive system for remote monitoring of operational safety of technical objects through risk-based approach considered in the article is a unique domestic development that has no analogues [8].

The versatility of this control technology allows processing data from a wide range of industrial objects according to a given algorithm.

Regarding traction rolling stock, the proposed machine learning technology will improve the actual traffic safety by increasing the level of predicting the probability of failure of its units, assessing risks of its further operation and generating recommended actions for its maintenance.

REFERENCES

1. Gapanovich, V. The digital railway: the present and the future [Tsifrovaya zheleznaya doroga: nastoyashchee i budushchee]. *Gudok*, Iss. 152 (26057). [Electronic resource]: <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1348652>. Last accessed 21.09.2020.

2. Rosenberg, E. N. Development of digital control systems and safety of train traffic [Razvitie tsifrovyykh sistem upravleniya i obespecheniya bezopasnosti dvizheniya poezdov]. *Eurasia Vesti*, 2018, XII. [Electronic resource]: <http://www.eav.ru/publ1.php?publId=2018-12a08>. Last accessed 21.09.2020.

3. Railway safety from open data sources [Bezopasnost zheleznnykh dorog iz otkrytykh istochnikov]. [Electronic resource]: <https://habr.com/ru/company/dsec/blog/306182/>. Last accessed 21.09.2020.

4. Strategy of scientific and technological development of Russian Railways holding company till 2025 and the outlook for 2030 (White book) approved by the order of JSC Russian Railways dated 17.04.2018 No. 769/r [Rasporyazhenie OAO «RZD» ot 17.04.2018 g. № 769/r]. [Electronic resource]: https://zsrd.rzd.ru/dbmm/download?vp=17&load=y&col_id=121&id=18071. Last accessed 21.09.2020.

5. Charkin, E. Strategy of digital transformation of Russian Railways [Strategiya tsifrovoy transformatsii

«RZD»]. [Electronic resource]: <https://www.tadviser.ru/index.php>. Last accessed 21.09.2020.

6. Website: Single window of innovations of Russian Railways [Edinoe okno innovatsii «RZD»]. [Electronic resource]: <https://innovation.rzd.ru/Ex/Claim/View/106>. Last accessed 21.09.2020.

7. Osyaev, A. T., Nikiforov, V. L. On the system of servicing locomotives abroad [O sisteme obsluzhivaniya lokomotivov za rubezhom]. *Vestnik VNIIZhT*, 2012, Iss. 5. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18028384>. Last accessed 21.09.2020.

8. Lagerev, A. V., Kinzhibalov, A. A., Panfilov, A. V., Korotky, A. A. [et al]. Pat. No. 2682020 RF. Method for remote control of safety during operation of an object based on digital information technology systems. Publ. 14.03.2019, Bul. No 8.

9. Deryushev, V. V., Sidelnikova, E. G. Integral indicator of sufficiency for assessing the technical condition of construction, and lifting and moving equipment [Obobshchenniy pokazatel dostatochnosti dlya otsenivaniya tekhnicheskogo sostoyaniya stroitelnoi i pod'emno-transportnoi tekhniki]. *Nauchnoe obozrenie*, 2013, Iss. 9, pp. 164–167.

10. Artashesyan, A. A. Machine learning algorithm based on the analysis of small samples. Proceedings of the international scientific and technical conference «Construction and architecture». Rostov-on-Don, Don State Technical University, 2017, pp. 82–86.

11. Deryushev, V. V., Sidelnikova, E. G. Defining the nomenclature of quality indicators for construction, and lifting and moving equipment [Opredelenie nomenklatury pokazatelei kachestva stroitel'nogo i pod'emno-transportnogo oborudovaniya]. *Nauchnoe obozrenie*, 2014, Vol. 11, Iss. 3, pp. 775–777.

12. Panfilov, A. V., Deryushev, V. V., Korotky, A. A. Recommended safety systems for a risk-based approach [Rekomendatsionnye sistemy bezopasnosti dlya risk-orientirovannogo podkhoda]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti*, 2020, Iss. 5, pp. 48–55.

13. Korotky, A. A., Lagerev, A. V., Meskhi, B. Ch., Lagerev, I. A., Panfilov, A. V. Development of transport infrastructure of large cities and territories on the basis of ropeway technology: Monograph [Razvitie transportnoi infrastruktury krupnykh gorodov i territorii na osnove tekhnologii kanatnogo metro: Monografiya]. Rostov-on-Don, publishing house DSTU, 2017, 344 p.

14. Trembitsky, A. V., Dubrovin, V. V., Pecherkin, A. S., Korotky, A. A., Ivanchenko, A. N., Panfilov, A. V., Maslennikov, A. A. Application of radio frequency identification means to increase the level of industrial safety of hazardous manufacture facilities [Primenenie sredstv radiochastotnoi identifikatsii dlya povysheniya urovnya promyshlennoi bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh ob'ektov]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti*, 2014, Iss. 9, pp. 68–72.

15. CLUB-U integrated locomotive safety device [Kompleksnoe lokomotivnoe ustroystvo bezopasnosti KLUB-U]. [Electronic resource]: <https://www.irz.ru/products/20/70.htm>. Last accessed 21.09.2020.

16. Order of JSC Russian Railways dated September 21, 2018 No 2070/r on amendments to the orders of JSC Russian Railways of August 11, 2016 No. 1651r and of December 30, 2016 No. 2796r and invalidation of some documents of JSC Russian Railways [Rasporyazhenie OAO «RZD» ot 21 sentiabrya 2018 g. № 2070 r «O vnesenii izmenenii v rasporyazheniya OAO «RZD» ot 11 avgusta 2016 g. № 1651r i ot 30 dekabrya 2016 g. № 279r i o priznanii utrativshimi silu nekotorykh dokumentov OAO «RZD»]. [Electronic resource]: <http://docs.cntd.ru/document/551490971>. Last accessed 21.09.2020.





Оценка качества перевозок пассажиров в городе Волжском по требованиям социального стандарта



Галина ЧЕРНОВА



Марина ВЕЛИКАНОВА



Владислав КОКШИЛОВ

Чернова Галина Анатольевна — Волгоградский государственный технический университет, Волжский, Россия.

Великанова Марина Владимировна — Волгоградский государственный технический университет, Волжский, Россия.

Кокшилов Владислав Александрович — Администрация городского округа — город Волжский, Волжский, Россия*.

В статье рассматриваются вопросы организации транспортного обслуживания пассажиров общественным транспортом с оценкой его качества по требованиям социального стандарта. Цель статьи — определить качество перевозок пассажиров муниципальным пассажирским предприятием на автобусах большой и средней вместимости и индивидуальными предпринимателями, осуществляющими перевозки на автобусах малой вместимости. В статье использованы отчётные материалы по перевозке пассажиров муниципальными и частными перевозчиками. Для достижения поставленной цели произведён расчёт показателей качества перевозок пассажиров общественным транспортом с использованием методики

социального стандарта Минтранса РФ. Определено количество баллов по каждому определённому социальному стандартом показателю для муниципальных перевозчиков и индивидуальных предпринимателей, представлены результаты расчётов. Проведён анализ качества услуг по перевозке пассажиров муниципальными и частными перевозчиками. Количественные характеристики показателей качества позволили определить текущее состояние услуг по перевозке пассажиров, выявить недостатки и дать прогноз улучшения качества услуг. С целью улучшения качества услуг по перевозке пассажиров предложены мероприятия для организаторов перевозок и перевозчиков.

Ключевые слова: городской транспорт, социальный стандарт, показатели качества, общественный транспорт, перевозчики пассажиров, показатели доступности, показатели надёжности, показатели комфортности.

*Информация об авторах:

Чернова Галина Анатольевна — кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильного транспорта Волжского политехнического института (филиала) Волгоградского государственного технического университета, Волжский, Россия, galina_vat@mail.ru.

Великанова Марина Владимировна — доцент кафедры автомобильного транспорта Волжского политехнического института (филиала) Волгоградского государственного технического университета, Волжский, Россия, marina_2010@mail.ru.

Кокшилов Владислав Александрович — заместитель главы Администрации городского округа — город Волжский, Волжский, Россия, vat@post.volpi.ru.

Статья поступила в редакцию 01.06.2020, принята к публикации 03.09.2020.

For the English text of the article please see p. 131.

В трудах и исследованиях учёных, занимающихся изучением вопросов организации перевозок пассажиров общественным транспортом, предлагается ввести количественную оценку уровня качества. Эта оценка качества возможна на всех уровнях организации и управления перевозками пассажиров (министерства, администрации городов, предприятия), а также для определённого периода времени. Подходы различных авторов к вопросам качества перевозочно-го процесса представлены в работах [1–6].

До установления в 2017 году социального стандарта транспортного обслуживания населения администрации городов и поселений в российских регионах устанавливали свои количественные показатели качества транспортного обслуживания населения общественным транспортом, которые были необходимы для оценки уровня организации перевозок пассажиров и разработки мероприятий для улучшения качества перевозок.

Одними из первых отраслевые региональные нормативы качества транспортного обслуживания населения по регулярным муниципальным и межмуниципальным маршрутам автомобильного транспорта общего пользования были установлены в Республике Татарстан в 2008 году [7]. Основой разработок региональных стандартов являлись требования ГОСТов, в которых установлены требования к услугам пассажирского транспорта и определена номенклатура показателей качества [8–13].

Министерством транспорта России (далее – Минтранс) разработан «Социальный стандарт транспортного обслуживания перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом» [14] (далее – социальный стандарт), в котором определены количественные показатели качества предоставления услуг по перевозке пассажиров общественным транспортом.

Социальный стандарт носит рекомендательный характер, однако он определяет единый подход для всех организаторов перевозок пассажиров и перевозчиков к оценке качества перевозок пассажиров.

В городе Волжском перевозку пассажиров общественным транспортом произво-

дят Муниципальное унитарное предприятие «Волжская А/К № 1732», (автобусы большой и средней вместимости) и индивидуальные предприниматели на автобусах малой вместимости ГАЗель [15].

Обеспечение надлежащего качества транспортного обслуживания пассажиров является первоочередной задачей организаторов в лице местного самоуправления и перевозчиков пассажиров на общественном транспорте. *Целью* исследования является определение показателей качества перевозок пассажиров в городе Волжском муниципальными и частными перевозчиками и соответствие их социальному стандарту.

В качестве исходных данных для определения показателей качества использовались следующие наборы данных: электронная карта города Волжского, количество жителей в четырёх зонах города, перечень остановочных пунктов, параметры деятельности муниципальных и частных перевозчиков и характеристики автобусов.

Для определения количественных характеристик показателей качества перевозок в городе Волжском авторами использована *методика*, представленная в социальном стандарте [14].

Принципами стандарта являются универсальность показателей, приоритет пассажира, двусторонний контроль. Структура стандарта устанавливает следующие показатели качества: показатели доступности, показатели надёжности, показатели комфортности.

Показатели доступности должны оценивать возможность получения населением услуг по перевозке пассажиров: расстояние до остановочных пунктов не более 400 м, к больницам и поликлиникам – не более 300 м; обеспечение доступа к остановочным пунктам, автовокзалам и автостанциям, а также к транспортным средствам для маломобильных групп населения; ценовая доступность поездки – не более 7 % от среднемесячного дохода; оснащённость автовокзалов, автостанций и остановочных пунктов информацией для пассажиров; частота обслуживания остановочных пунктов.

Показатель надёжности обеспечивается соблюдением расписания маршрутов регу-



Оценка качества транспортного обслуживания населения

Интервальные значения КО	Качество транспортного обслуживания населения
$КО \leq 30 \%$	неудовлетворительное
$30 \% < КО \leq 50 \%$	минимальное
$50 \% < КО \leq 80 \%$	среднее
$КО > 80 \%$	высокое

Источник: Распоряжение Минтранса России от 31.01.2017 г. № НА-19-р «Социальный стандарт транспортного обслуживания перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом» (ред. 13. 04. 2018 г.).

лярных перевозок: случаи опоздания автобуса свыше двух минут не должны превышать 15 % от общего количества рейсов.

Показатели комфортности определяются уровнем удобства пользования услугами по перевозке пассажиров, в том числе отсутствием физиологического и психологического дискомфорта. В показатели комфортности входят: оснащение автобусов системами информирования пассажиров; температура в салоне: зимой — не менее 12°C, летом — не более 25°C; норма вместимости: 3 пассажира на 1 м² площади пола автобуса; срок службы автобусов не более десяти лет; экологичность автобусов: Евро-4, Евро-5; количество пересадок: не более двух в муниципальных образованиях с численностью населения более 500000 человек, не более одной в остальных муниципальных образованиях. Требования к показателям определены в нормативных документах [16–19].

Максимальное количество баллов, определяемое по каждому показателю, равно 10. Уровень качества транспортного обслуживания населения по маршрутам регулярных перевозок (КО) определяется по формуле:

$$КО = B_n / B_m \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где B_n — количество набранных баллов, посчитанное суммированием баллов, присвоенных показателям;

B_m — максимальное возможное количество баллов, равное 130 баллам для населённых пунктов с численностью населения менее 250 человек; 120 баллам — для остальных населённых пунктов. Для города Волжского количество баллов — 120.

По итогам расчётов формируется вывод о качестве транспортного обслуживания населения по муниципальным маршрутам регулярных перевозок в соответствии со значениями табл. 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Авторами проведён расчёт показателей по социальному стандарту Минтранса, в результате разработана табл. 2, в которой представлены рассчитанные показатели качества перевозок пассажиров в городе Волжском [20].

Показатели качества рассчитывались как для перевозчиков, которыми являются муниципальное унитарное предприятие «Волжская А/К № 1732» на автобусах средней и большой вместимости и частные перевозчики на автобусах малой вместимости, так и для организатора перевозок — Администрации города Волжского.

Показателями, зависящими от Администрации — организатора перевозок, являются: территориальная и пешеходная доступность остановочных пунктов; доступность остановочных пунктов, автовокзалов и автостанций для маломобильных групп населения; ценовая доступность поездок по муниципальным маршрутам регулярных перевозок; оснащённость автовокзалов, автостанций и остановочных пунктов; количество пересадок. Эти показатели являются общими для МУП «Волжская А/К № 1732» (МУП В/АК № 1732) и перевозчиков на автобусах малой вместимости (маршрутных такси) и имеют одинаковые значения. Отдельно для перевозчиков рассчитаны следующие показатели: доступность автобусов для инвалидов и пассажиров с колясками, оснащённость автобусов системой информирования, температура в салоне, экологические характеристики и возраст автобусов. В табл. 2 в скобках даны расчётные показатели по итогам внедрения мероприятий по улучшению качества перевозок пассажиров [20].

Расчёт показателей качества по социальному стандарту Минтранса показал, что качество транспортного обслуживания

Таблица 2

Показатели качества перевозок пассажиров в городе Волжском (составлено авторами)

Показатели качества	Количество баллов	
	МУП В/АК № 1732	Частные перевозчики
Территориальная доступность остановочных пунктов (ОП)	9	
Доступность ОП, а/в и а/с для маломобильных групп населения (ММГН)	6 / (8)	
Доступность ТС для ММГН	7 / (8)	1
Ценовая доступность поездок	10	
Оснащённость а/в, а/с и информацией об ОП	4 / (6)	
Соблюдение расписания	10	1
Оснащённость транспортных средств средствами информирования пассажиров	10	10
Температура в салоне автобусов	8 / (1)	1
Соблюдение норм вместимости	10	10
Количество пересадок	10	10
Экологичность	5 / (8)	1
Превышение установленного заводом-производителем срока службы ТС	6 / (8)	4
Всего баллов	95 / (103)	67 / (71)
МУП В/АК № 1732	95 • 100/ 120 = 79 % / (89 %)	
Частные перевозчики		67 • 100/120 = 56 % / (59 %)

Примечание: значение КО находится между 50 % и 80 % ($50 \% < КО \leq 80 \%$); уровень качества обслуживания населения средний. При выполнении мероприятий уровень качества – 89 % ($КО > 80 \%$), высокое для В/АК № 1732.

населения МУП «Волжская А/К № 1732» среднее, значение КО равно 79 % (табл. 1 и 2).

Для частных перевозчиков на маршрутных такси качество обслуживания тоже среднее, значение КО равно 56 %.

Показатели качества у частных перевозчиков ниже, чем у муниципальных.

Отличия качества перевозок пассажиров у МУП и индивидуальных предпринимателей:

1. *Доступность транспортных средств для маломобильных групп населения.*

В автоколонне из 176 автобусов – 111 низко- или среднепольных, позволяющих перевозить инвалидов и пассажиров с колясками. В маршрутных такси частных перевозчиков доступности для перевозки маломобильных групп пассажиров нет.

2. *Надёжность. Соблюдение расписания маршрутов регулярных перевозок.*

Соблюдение расписания в автоколонне выполняется всеми водителями. Регулярность выполнения расписания движения автобуса на маршруте контролируется центральной диспетчерской службой автоколонны. Этим обеспечивается гарантия

поездки пассажиров. Для этого в кабине водителя установлен навигатор. Применяются два вида навигаторов: «Гранит-2» или «Гранит-4». Мобильный блок регистрирует положение и скорость подвижного объекта и фиксирует их в памяти через заданные промежутки времени. Данные о текущем местоположении транспортного средства передаются на диспетчерский пункт посредством GPRS или CSD/SMS соединения. CSD/SMS соединение используется в качестве альтернативного канала передачи данных, когда недоступен GPRS. Полученная информация отображается на мониторе диспетчера в виде карты обслуживаемой территории. Диспетчер может установить текущее местоположение транспортного средства, запросить маршрут за любой период времени, контролировать состояние датчиков и управлять исполнительными устройствами. Установленная система мониторинга через модуль ГЛОНАСС/GPS позволяет диспетчеру ЦДС отслеживать регулярность выполнения расписания движения автобусов. Данная система мотивирует водителя и обеспечивает минимизацию задержек и опозда-





Рис. 1. Тахограф «ШТРИХ-TaxoRUS» [Электронный ресурс]: www.auto.shtrih-m.ru/. Доступ 03.09.2020.

ний в работе транспорта на каждом маршруте.

На всех автобусах автоколонны установлены тахографы «ШТРИХ-Taxo RUS» (рис. 1).

Возможности тахографа:

- накопление и хранение данных за 366 дней;
- контроль за режимами труда и отдыха водителей;
- индикация и сохранение в памяти устройства скорости, пробега ТС, режимов работы водителей и т.д.

Контроль регулярности выполнения расписания движения автобусов на маршрутах частных перевозчиков отсутствует. Проводимые плановые проверки частных перевозчиков на маршрутных такси управлением государственного автодорожного надзора (Автодорнадзором) и Администрацией города Волжского показывают, что зачастую частные перевозчики нарушают расписание и работают только в часы пик при наибольшем пассажиропотоке.

Для обеспечения контроля Автодорнадзор при выдаче лицензионных свидетельств частным перевозчикам осуществил привязку государственных номеров к маршруту. В дальнейшем Администрация города планирует установку камер видеонаблюдения на остановочных пунктах для контроля за работой частных перевозчиков, в частности за соблюдением расписания движения.

3. Комфортность. Оснащённость транспортных средств средствами информирования пассажиров.

Автобусы муниципальных и частных перевозчиков оснащены средствами информирования пассажиров согласно требованиям Правил перевозок пассажиров.

Дополнительная информация применяется в автобусах МУП «Волжская А/К

№ 1732». Пассажиров извещают об остановочных пунктах через одностороннюю громкую связь. Кроме того, информация может быть получена от кондуктора и непосредственно водителя. Автобусы «Volgabus-6270» и «Volgabus-5270G2» снабжены «бегущей строкой» внутри салона. Информация в «бегущей строке» содержит название остановочного пункта, температуру окружающего воздуха, рекламу различного характера, в т.ч. сведения и объявления автоколонны. Кроме того, имеются информационные табло на наружной поверхности автобуса.

МУП «Волжская автоколонна № 1732» запустила с 21 сентября 2017 года сервис «Транспорт – онлайн». Сервис позволяет в режиме реального времени отслеживать местонахождение общественного транспорта. Кроме того, здесь же можно получить информацию о времени прибытия автобуса на конкретную остановку. Сервис базируется на данных ГЛОНАСС, а также диспетчерской службы автоколонны. На мобильных устройствах в интернет-магазине «Play Market» приложение называется «Умный транспорт».

Пассажиры также могут воспользоваться мобильным приложением «Умный транспорт» для того, чтобы узнавать о движении автобусов с телефона (рис. 2).

Приложение позволяет пассажирам отслеживать время подхода автобусов к остановочному пункту по каждому конкретному автобусу, рационально спланировать свой график и свои поездки. Также через приложение в смартфоне можно узнать расписание прибытия автобуса на каждую из остановок. На площади Свердлова (остановочный пункт «Площадь Свердлова») напротив Медицинского колледжа установлена первая и пока единственная в городе Волжском «умная» остановка (рис. 3).



Рис. 4. Зонирование территории г. Волжского (разработано авторами).

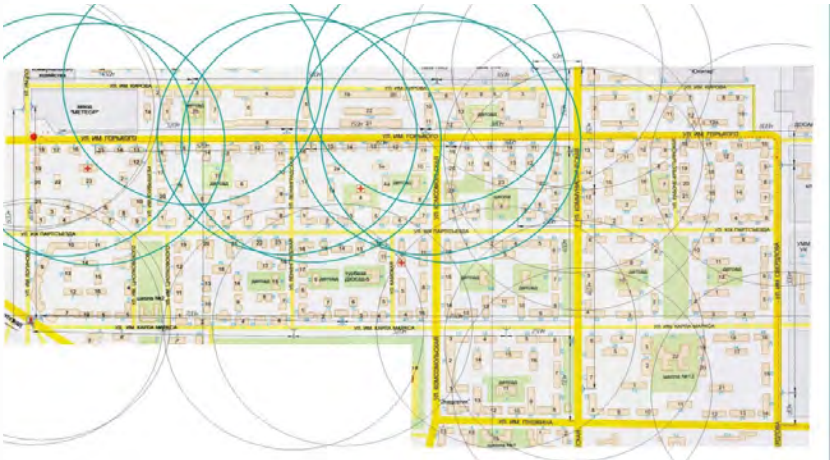


Рис. 5. Радиусы пешеходной доступности в I зоне (разработано авторами).

Таблица 3
Пешеходная доступность для жителей Волжского остановочных пунктов по зонам
(разработано авторами)

№ зоны	Кол-во жителей	Число жителей			Площадь зоны, км ²
		В зоне пешеходной доступности	Вне зоны пешеходной доступности	К-т населённости в зоне II / доступ, %	
1	26826	11284/22742	15542/3084	42,1/84,8	2,134
2	77835	67684	10151	87	4,666
3	117585	101108/ 104380	16477/13205	86/88,8	5,64
4	104479/107779	102730/ 106619	1749/1160	98,3/98,9	7,854
	326725	282806	43919	78,4/89,9	20,294

расположен на существующем остановочном пункте, центр тёмного контура на новых остановочных пунктах, оборудованных в соответствии с требованиями социального стандарта.

Для доступа инвалидов на всех остановочных пунктах имеются съезды для инвалидных колясок. На автовокзале будет обеспечен доступ инвалидов к зданию автовокзала; обеспечен доступ к билетным кассам; имеются три кресла для инвалидов,

доска информации и соответствующая разметка. Для перевозки инвалидов в дополнение к существующим низко- и среднепольным автобусам планируется приобретение 50 новых низкопольных автобусов с кондиционерами экологического класса Евро-5, на основании требований [20].

В результате выполнения планируемых мероприятий показатель уровня качества обслуживания и перевозки пассажиров в В/АК № 1732 достигнет высокого



Рис. 6. Радиусы пешеходной доступности в IV зоне (разработано авторами).

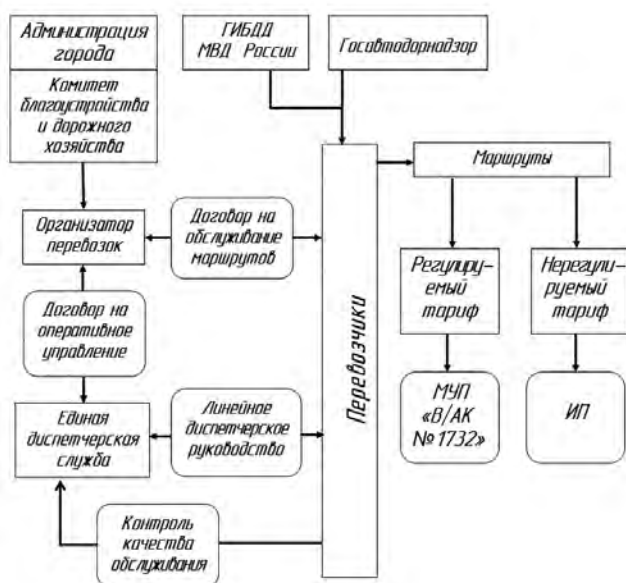


Рис. 7. Структура управления и контроля перевозками пассажиров общественным транспортом (разработано авторами).

(по стандарту КО > 80 %) уровня: КО = 89 %. Для индивидуальных предпринимателей уровень качества обслуживания увеличится с 56 % до 59 % только за счёт мероприятий со стороны Администрации.

В обеспечении и улучшении качества перевозок пассажиров общественным транспортом участвуют организаторы и исполнители. Управление перевозочным процессом автоколонны и индивидуальных предпринимателей должно осуществляться через центральную диспетчерскую службу (ЦДС) Администрации города

Волжского. Для контроля за качеством перевозок пассажиров и координации муниципальных и частных перевозчиков также необходимо управление со стороны Администрации через Центральную диспетчерскую службу. Планируемая структура управления перевозками в городе Волжском представлена на рис. 7.

Для повышения качества перевозок пассажиров общественным пассажирским транспортом необходимо применять также современные методологии, предлагаемые ведущими учёными [21].



ВЫВОДЫ

Проведённый расчёт уровня качества обслуживания пассажиров общественным транспортом позволил определить недостатки в организации и разработать соответствующие мероприятия по улучшению обслуживания населения города Волжского за счёт обеспечения пешеходной доступности и применения автобусов, обеспечивающих комфортные условия для пассажиров и улучшение экологии для горожан. Мероприятия учитываются Администрацией города и при разработке городского документа планирования регулярных перевозок включаются в него.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гудков В. А., Миротин Л. Б., Вельможин А. В., Ширяев С. А. Пассажирские автомобильные перевозки: Учебник. — М.: Горячая линия. Телеком, 2006. — 447 с. [Электронный ресурс]: <https://litmy.ru/knigi/biznes/201838-passazhirskie-avtomobilnye-servevozki.html>. Доступ 03.09.2020.
2. Кравченко Е. А., Шабанов А. В. региональные логистические системы общественного транспорта: методология формирования и механизм управления. — Ростов н/Д: Изд-во СКНЦВШ, 2001. — 205 с.
3. Володькин П. П. Оптимизация транспортного обслуживания пассажиров муниципального образования с учётом социальных факторов / Дис... док. техн. наук. — Волгоград, Волгоградский государственный технический университет, 2011. — 368 с. [Электронный ресурс]: <https://www.disscat.com/content/optimizatsiya-transportnogo-obsluzhivaniya-naseleniya-munitsipalnykh-obrazovaniy-s-uchetom-s>. Доступ 03.09.2020.
4. Большаков А. М. Повышение уровня обслуживания пассажиров автобусами в городах и пригородном сообщении на основе комплексной системы управления качеством перевозок / Дис... канд. техн. наук. — М., 1981. — 184 с.
5. Артемьев С. П., Донской В. М. Развитие и организация междугородных автомобильных перевозок. — М.: Транспорт, 1984. — 128 с.
6. Караева М. Р. Логистическая модель совершенствования управления городскими пассажирскими перевозками / Автореф. дис... канд. экон. наук. — Ростов-на-Дону, Рост. гос. строит. ун-т, 2014. — 23 с. [Электронный ресурс]: http://emsu.ru/face/dissert/avtoferat_karaevamr.pdf. Доступ 03.09.2020.
7. Отраслевые региональные нормативы качества транспортного обслуживания населения по регулярным муниципальным и межмуниципальным маршрутам автомобильного транспорта общего пользования. Утв. Приказом Минтранса и дорожного хозяйства Республики Татарстан от 16 января 2008 года № 3. [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/917028298>. Доступ 03.09.2020.
8. ГОСТ Р 51004-96. Услуги транспортные. Пассажирские перевозки. Номенклатура показателей качества. [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/1200010825>. Доступ 03.09.2020.
9. ГОСТ Р 51004-2001. Номенклатура показателей качества пассажирских перевозок. [Электрон-

ный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/1200010825>. Доступ 03.09.2020.

10. ГОСТ Р 51825-2001. Услуги пассажирского автомобильного транспорта. Общие требования. [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/1200028574>. Доступ 03.09.2020.

11. ГОСТ Р 51006-96. Услуги транспортные. Термины и определения. [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/1200000872>. Доступ 03.09.2020.

12. ГОСТ Р 51616-2000. Автомобильные транспортные средства. Шум внутренний. Допустимые уровни и методы испытаний. [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/1200009078>. Доступ 03.09.2020.

13. ОСТ 200-004-95. Система показателей качества. Перевозка пассажиров автобусами. Номенклатура показателей.

14. Распоряжение Минтранса России от 31.01.2017 г. № НА-19-р «Социальный стандарт транспортного обслуживания перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом» (ред. 13.04.2018 г.). [Электронный ресурс]: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/6802>. Доступ 03.09.2020.

15. Отчёт к научно-исследовательской работе «Оптимизация маршрутной сети в городском округе — город Волжский Волгоградской области с целью обеспечения транспортной доступности населения города с учётом показателей качества транспортного обслуживания населения». Договор № 11/41-19 от 29.04.2019 г. ВПИ с Комитетом по безопасности жизнедеятельности администрации городского округа — город Волжский.

16. ОДМ 218.2.007-2011. Методические рекомендации по проектированию мероприятий по обеспечению доступа инвалидов к объектам ДХ. [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/1200101845>. Доступ 03.09.2020.

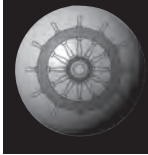
17. Правила перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом. ПП РФ № 112 от 14.02.2009 г. (в ред. ПП РФ от 09.06.2014 г. № 528). [Электронный ресурс]: <https://base.garant.ru/195015/>. Доступ 03.09.2020.

18. СП 59.13330.2016. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения. Актуальная ред. СНиП 35-01-2001. [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/456033921>. Доступ 03.09.2020.

19. Приказ Минтранса РФ № 347 от 01.12.2015 г. «Об утверждении Порядка обеспечения условий доступности для пассажиров из числа инвалидов транспортных средств автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта, автовокзалов, автостанций и предоставляемых услуг, а также оказания им при этом необходимой помощи». [Электронный ресурс]: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71294366/>. Доступ 03.09.2020.

20. Чернова Г. А., Великанова М. В., Кокшилов В. А. Обеспечение качества перевозок пассажиров общественным транспортом города Волжского: Монография. — Волгоград, ВолгГТУ, 2019. — 259 с.

21. Якунина Н. В. Методология повышения качества перевозок пассажиров общественным пассажирским транспортом / Автореф. дис... док. техн. наук. — Оренбург, Оренбургский государственный университет. 2013. — 32 с. [Электронный ресурс]: http://artlib.osu.ru/web/avto-ref-all/4051_20140123.pdf. Доступ 03.09.2020. ●



Assessment of Quality of Passenger Transportation in the City of Volzhsky in Conformity with the Requirements of the Social Standard



Galina A. CHERNOVA



Marina V. VELIKANOVA



Vladislav A. KOKSHILOV

Chernova, Galina A., Volgograd State Technical University, Volzhsky, Russia.

Velikanova, Marina V., Volgograd State Technical University, Volzhsky, Russia.

Kokshilov, Vladislav A., Administration of the Urban District of the City of Volzhsky, Volzhsky, Russia.*

ABSTRACT

The article considers organisation of transportation services for passengers with public transport followed by their quality assessment in conformity with the requirements of the social standard. The objective of the article is to determine quality of passenger transportation by a municipal passenger enterprise with buses of large and medium capacity and by individual entrepreneurs carrying out transportation with minibuses. The article uses reporting materials on transportation of passengers by municipal and private carriers. To achieve the purpose, quality indicators of passenger transportation by public transport were calculated using the methodology of

the social standard approved by the Ministry of Transport of the Russian Federation. The number of points for each indicator defined by the social standard for municipal carriers and individual entrepreneurs is determined, the results of relevant calculations are presented. The analysis of quality of passenger transportation services provided by municipal and private carriers was carried out. The quantitative characteristics of quality indicators values made it possible to determine the current state of passenger transportation services, identify shortcomings and make a forecast for improving quality of services. To improve quality of passenger transportation services, measures were proposed for bodies responsible for transportation and carriers.

Keywords: urban transport, social standard, quality indicators, public transport, passenger carriers, availability indicators, reliability indicators, comfort indicators.

*Information about the authors:

Chernova, Galina A. – Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Road Transport of Volzhsky Polytechnic Institute, a branch of Volgograd State Technical University, Volzhsky, Russia, galina_vat@mail.ru.

Velikanova, Marina V. – Associate Professor at the Department of Road Transport of Volzhsky Polytechnic Institute, a branch of Volgograd State Technical University, Volzhsky, Russia, marina_2010@mail.ru.

Kokshilov, Vladislav A. – Deputy Head of the Administration of the Urban District of the city of Volzhsky, Volzhsky, Russia, vat@post.volpi.ru.

Article received 01.06.2020, accepted 03.09.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 122.

Background. The works and studies of researchers studying the issues of organisation of passenger transportation by public transport propose to introduce quantitative assessment of the quality level. This quality assessment is possible at all levels of organisation and management of passenger transportation (ministries, city administrations, enterprises), as well as for studied time periods. The approaches of some authors of quality of the transportation process are presented in [1–6].

Prior to establishment in 2017 of the social standard for transportation services for residents, the administrations of cities and settlements in Russian regions established their own quantitative indicators of quality of public transportation services, which were necessary to assess the level of organisation of passenger transportation and to develop measures to improve transportation quality.

One of the first sectoral regional standards for quality of public transportation services provided on regular municipal and inter-municipal routes of public motor transport were established in the Republic of Tatarstan in 2008 [7]. The development of regional standards based on the requirements of GOSTs [State standards], which established the requirements for passenger transportation services and determined the nomenclature of quality indicators [8–13].

The Ministry of Transport of Russia has developed a «Social standard for transportation services for transportation of passengers and luggage by road and urban land electric transport» [14], which defines quantitative indicators of quality of services of passenger transportation by public transport.

The social standard is of a recommendatory nature, but it defines a single approach to assessment of quality of passenger transportation for all organisations responsible for passenger transportation and carriers.

In the city of Volzhsky, public passenger transportation is carried out by the Municipal Unitary Enterprise «Volzhskaya A/K No. 1732» [bus enterprise; or «motorcade» if literally translated] that operates buses of large and medium capacity, and by individual entrepreneurs [individual businesses] operating GAZelle low-capacity buses [minibuses] [15].

Ensuring proper quality of passenger transportation services is the primary task of the responsible body, which is local government,

and of public passenger carriers. The *objective* of the study is to determine quality indicators of passenger transportation in the city of Volzhsky by municipal and private carriers and their compliance with the social standard.

The following data sets were used as the initial data to determine quality indicators: an electronic map of Volzhsky city, the number of residents in 4 zones of the city, a list of stopping points, parameters of activities of municipal and private carriers, and buses' specifications.

To determine quantitative characteristics of quality indicators of transportation in the city of Volzhsky, the authors used the *technique* presented in the social standard [14].

The principles of the standard include universality of indicators, passenger priority, bilateral control. The structure of the standard establishes the following quality indicators: availability indicators, reliability indicators, and comfort indicators.

Availability indicators should assess the range of possibilities for the inhabitants to receive passenger transportation services: the walking distance to stopping points should not exceed 400 m, and 300 m to hospitals and clinics; providing access to stopping points, bus stations and bus terminals, as well as to vehicles for people with limited mobility; affordability of the trip (costs of traveling with public transport should not be higher than 7 % of the average monthly income); equipment of bus stations, bus terminals and stopping points with devices for informing the passengers; frequency of service of stopping points.

The *reliability indicator* is ensured by respect of the schedule of regular transportation routes: cases of a bus delay of more than two minutes should not exceed 15 % of the total number of trips.

Comfort indicators are determined by the level of convenience in using passenger transportation services, including the absence of physiological and psychological discomfort. Comfort indicators include equipping buses with passenger awareness systems; interior temperature in winter should not be less than 12°C, and in summer not more than 25°C; capacity standard: 3 passengers per 1 m² of bus floor area; the service life of buses should not exceed ten years; environmental friendliness of buses: compliance with Euro-4, Euro-5 standards; number of transfers [during a trip]:

Table 1

Assessment of public transportation services quality

Interval value of TQ	Quality of transportation services provided to the population
$TQ \leq 30 \%$	non-satisfactory
$30 \% < TQ \leq 50 \%$	minimal
$50 \% < TQ \leq 80 \%$	average
$TQ > 80 \%$	high

Source: Decree of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated 31.01.2017 No. NA-19-r «Social standard for transportation services for transportation of passengers and luggage by road and urban land electric transport» (as amended on 13.04.2018).

no more than 2 in municipalities with population of more than 500 000 people, no more than a single one in other municipalities. Requirements for indicators are specified in regulatory documents [16–19].

The maximum number of points that can be achieved per each indicator is 10. The level of quality of public transportation services along regular routes (KO) is determined by the formula:

$$TQ = B_{sc}/B_M \cdot 100 \%, \tag{1}$$

where B_{sc} is total number of points scored, calculated by summing the points scored when assessing each indicator;

B_M is maximum possible number of points, equal to 130 points for settlements with population of less than 250 people; 120 points for any other settlements, thus for the city of Volzhsky, the number of points obtainable is equal to 120.

Based on the results of the calculations, a conclusion is drawn about quality of transportation services provided to the population along regular municipal routes in accordance with the values indicated in Table 1.

Results.

The authors upon calculating the indicators values according to the social standard of the Ministry of Transport developed Table 2, which presents the calculated indicators of quality of passenger transportation in the city of Volzhsky [20].

Quality indicators were calculated both for carriers, which are the municipal unitary enterprise «Volzhskaya A/K No. 1732» operating buses of medium and large capacity and private carriers operating minibuses, and for the body responsible for organisation of transportation which is the Administration of the city of Volzhsky.

The indicators that depend on the Administration comprise: territorial and pedestrian

accessibility of stopping points; availability of stopping points, bus stations and bus terminals for people with limited mobility; affordability of trips on municipal routes of regular transportation; equipment of bus stations and stopping points; number of transfers. These indicators are common for MUE «Volzhskaya A/K No. 1732» and carriers operating minibuses (fixed route taxis) and have the same values. The following indicators were calculated separately for carriers: accessibility of buses to disabled people and passengers with prams, equipment of buses with devices for informing the passengers, temperature in the compartment, environmental characteristics, and age of buses (Table 2). The Table 2 also contains indicators (in brackets) targeted following implementation of measures to improve quality of passenger transportation [20].

Calculation of quality indicators according to the social standard of the Ministry of Transport showed that quality of public transportation services provided by the MUE Volzhskaya A/K No. 1732 is average, and the value of TQ is 79 % (Tables 1, 2).

For private carriers operating fixed route taxis, the quality of service is also average, TQ value is 56 %.

The quality indicators of private carriers are lower than those of municipal carriers.

The differences in quality of passenger transportation between MUE and individual entrepreneurs are further shown:

1. Accessibility of vehicles for people with limited mobility.

The municipal bus enterprise A/K No. 1732 has 111 low- or medium-floor buses out of 176 vehicles, allowing transportation of disabled people and passengers with prams. In fixed route taxis of private carriers, there is no availability for transportation of passengers with limited mobility.



Table 2

Indicators of quality of passenger transportation in the city of Volzhsky
(compiled by the authors)

Quality indicators	Number of points	
	MUE V/AK № 1732	Private carriers
Territorial availability of stopping points	9	
Accessibility of stopping points, bus stations and bus terminals for people with limited mobility (PLM)	6 / (8)	
Vehicle accessibility for PLN	7 / (8)	1
Price affordability of trips	10	
Equipment of bus stations, bus terminals and stopping points with devices for informing the passengers	4 / (6)	
Compliance with the schedule	10	1
Equipment of vehicles with devices for informing the passengers	10	10
Temperature in the passenger compartment of buses	8 / (1)	1
Compliance with capacity standards	10	10
Number of transfers	10	10
Environmental friendliness	5 / (8)	1
Exceeding the service life of vehicles set by the manufacturers	6 / (8)	4
Total score	95 / (103)	67 / (71)
MUE V/AK No. 1732	95-100/120 = 79 % / (89 %)	
Private carriers	67-100/120 = 56 % / (59 %)	

Note: the value of TQ is between 50 % and 80 % ($50 \% < KO \leq 80 \%$), therefore the rate of quality of services provided is average. When performing the activities, the quality level of 89 % ($TQ > 80 \%$) is high for V/AK No. 1732.



Pic. 1. «SHTRIKH-Tahorus» tachograph. [Electronic resource]: www.auto.shtrih-m.ru/. Last accessed 03.09.2020.

2. Reliability. Respect of the schedule of regular transportation routes.

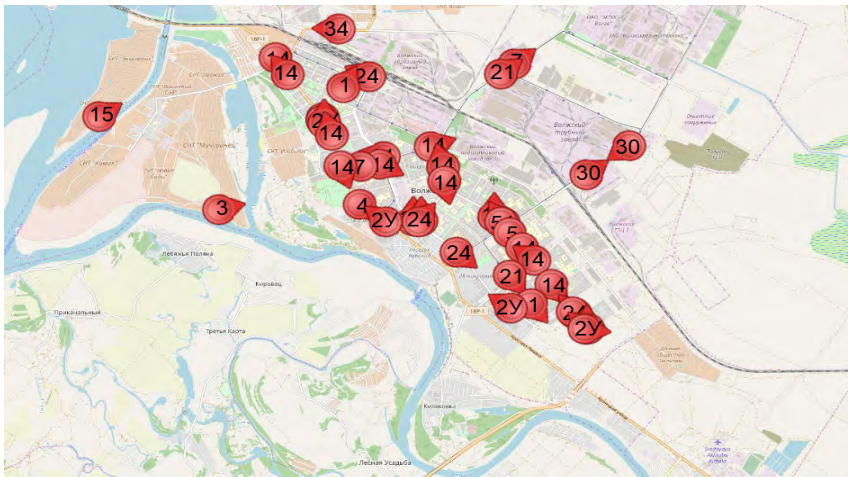
The schedule is respected by all the drivers of the municipal bus enterprise. The regularity of the bus conformity with the schedule on the route is controlled by the central dispatch service of the municipal bus enterprise. This guarantees the travel of passengers. For this, a navigator is installed in the driver's cabin. Two «Granit-2» or «Granit-4» types of navigators are used for this purpose. The mobile unit registers the position and speed of a moving object and fixes them in memory at specified intervals. Data on the current position of the vehicle is transmitted to the dispatch centre via GPRS or CSD/SMS connection. CSD/SMS connection is used as an alternative data transmission channel when

GPRS is not available. The information received is displayed on the dispatcher's monitor in the form of a map of the serviced area. The dispatcher can identify the current position of the vehicle, request a route travelled for any period, monitor the status of sensors and executive devices. The installed monitoring system via GLONASS/GPS module allows the VTS dispatcher to track regularity of the respect of a bus schedule. This system motivates the driver and ensures that delays are minimized on each route.

All buses of the municipal bus enterprise are equipped with «SHTRIKH-Tahorus» tachographs (Pic. 1).

Tachograph features:

- accumulation and storage of data for 366 days;



Pic. 2. Information about bus positioning using Smart Transport application. Russian language interface.
[Electronic resource]: <http://www.bus62.ru/Google.Play> <https://play.google.com/store/apps/details?id=ru.bus62.SmartTransport&hl=ru>. Last accessed 03.09.2020.

- control over the modes of work and rest of drivers;
- indication and storage in the device memory of indices of vehicle speed, mileage, driver working time, etc.

There is no control over the regularity of the bus schedule on the routes of private carriers. The regular inspections of private carriers operating fixed route taxis by Avtodornadzor [Office for road transport supervision] and Volzhsky City Administration show that private carriers often violate the schedule and work only during peak hours when there is the highest passenger traffic.

To ensure control, Avtodornadzor, when issuing license certificates to private carriers, has bound vehicle state registration numbers [number plates] to the given route. In the future, the City Administration plans to install CCTV cameras at stopping points to monitor the work of private carriers, and, particularly, the respect of the schedule.

3. Comfort. Equipping vehicles with passenger information systems.

The buses of municipal and private carriers are equipped with passenger information devices in accordance with the requirements of the Passenger Transportation Rules.

Additional information is provided in the buses of MUE Volzhskaya A/K No. 1732. Passengers are informed on stopping points through a one-way speakerphone. In addition, information can be obtained directly from the conductor and the driver. Buses of «Volgabus-6270» and «Volgabus-5270G2» models are equipped

with a creeping line inside the compartment. Creeping line information contains the name of the stopping point, ambient temperature, advertising of various nature, including information and announcements of the municipal bus enterprise. Besides information boards are installed on the outside of the bus.

MUE Volzhskaya A/K No. 1732 has launched the «Transport Online» service since September 21, 2017. The service allows tracking the position of public transport in real time. Besides, information about time of arrival of the bus at a specific stopping point can be also obtained. The service is based on data from GLONASS and bus enterprise's dispatching service. The application is called Smart Transport for mobile devices in the Play Market online store.

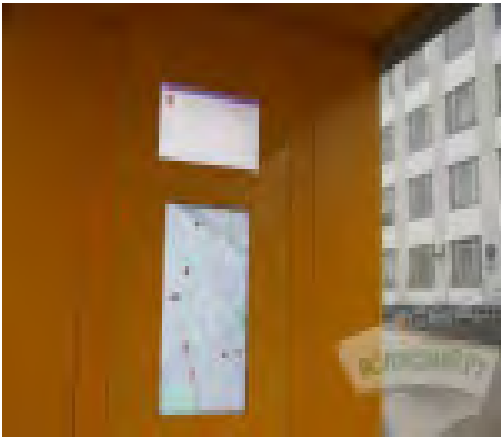
Passengers can also use the Smart Transport mobile application to find out about movement of buses from their phone (Pic. 2).

The application allows passengers to track time of approach of buses to the stopping point for each specific bus, to rationally plan their schedule and their trips. Also, through the application installed on the smartphone, it is possible to find out the schedule of arrival of the bus at each of the stopping points.

Also, the very first and so far, the sole smart stop in the city of Volzhsky was arranged at Sverdlov Square (Sverdlov Square stop) opposite the Medical College (Pic. 3).

The pavilion is equipped with USB ports for charging various phones and with free Wi-Fi. On the built-in electronic display, passengers





Pic. 3. «Smart» stop at Sverdlov Square (authors’ photo).

Table 3

Pedestrian accessibility for Volzhsky residents of stopping points by zones (developed by the authors)

No. zone	Number of residents	Number of residents			Zone area, km ²
		Of whom live in the zone of walking distance	Outside the walking distance	Population ratio in the zone / accessibility, %	
1	26826	11284/22742	15542/3084	42,1/84,8	2,134
2	77835	67684	10151	87	4,666
3	117585	101108/ 104380	16477/13205	86/88,8	5,64
4	104479/107779	102730/ 106619	1749/1160	98,3/98,9	7,854
	326725	282806	43919	78,4/89,9	20,294

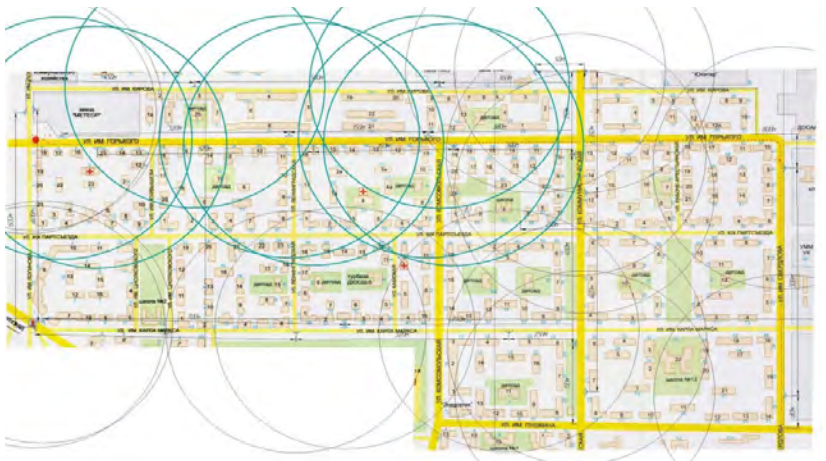


Pic. 4. Zoning of the territory of Volzhsky (developed by the authors).

can see the map of the city, find out the different routes of bus traffic, time of arrival of public transport vehicle at a given stop and its destination. There is a creeping line showing the arrival time of the nearest bus. Meanwhile, Volzhsky residents have already noticed that the screen and the display show the travelled routes of even those buses that do not stop at this stopping point (routes No. 5, 7, 14 and 34). The pavilion has LED lighting and a video surveillance camera. The walls of the pavilion have a vandal-proof protective coating.

Based on the results of identification and analysis of quality indicators [20], the authors, together with the Administration of the City of Volgograd, have developed measures to improve quality of passenger transportation. Table 2 shows (in brackets) the improved quality indicators based on the results of the developed activities.

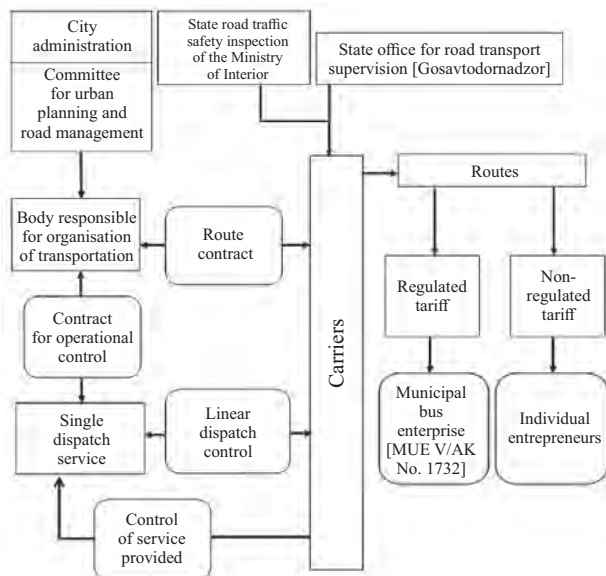
During modernisation of stopping points, it is planned to install 26 transparent triplex glass stopping pavilions with creeping lines in the city, and six metal stopping pavilions in the



Pic. 5. Radii of pedestrian accessibility in zone I (developed by the authors).



Pic. 6. Radii of pedestrian accessibility in zone IV (developed by the authors).



Pic. 7. The structure of management and control of public passenger transportation (developed by the authors).



Industrial Zone. The City Administration is replacing stopping pavilions with new modern ones, able to display information for passengers.

Improved accessibility of stopping points has been achieved through construction of new stopping points in the old part of the city, as well as during construction of new facilities and microdistricts of the city. As a result, the population ratio in zones I, III and IV (Pic. 4) has grown, and the total city population ratio has also increased from 78,4 % to 89,9 %.

Table 3 shows the pedestrian accessibility for Volzhsky residents of stopping points by zones [20]. In the zone I near the railway station, the population ratio in the zone of pedestrian accessibility is 42,1 %. That is, there are no stopping points in the zone I and required quality of services is not provided.

Pics. 5 and 6 show zones I and IV of Volzhsky city with marked pedestrian access radii of 400 m. In the pictures, the centres of pale-coloured circles are located at the existing stopping points, the centres of the deep colour circles are at new stopping points equipped in accordance with the requirements of the social standard.

There are wheelchair ramps at all stopping points to enhance access of people with limited mobility. The bus station will provide access for people with limited mobility to the bus station building; the access to ticket offices has been provided; there are three wheelchair accessible chairs, an information board, and related marking.

Besides existing low- and medium-floor buses, it is planned to purchase 50 new low-floor buses of Euro 5 ecological standard and equipped with air conditioning systems, capable to carry people with limited mobility based on the requirements [20].

As a result of implementation of the planned measures, the indicator of the quality of transportation and service provided to passengers by municipal bus enterprise will attain a high level (according to the standard high level should have $TQ > 80 \%$): $TQ = 89 \%$. For individual entrepreneurs, the level of service quality will increase from 56 % to 59 % only due to measures taken by the City Administration.

All bodies responsible for transportation and carriers are involved in ensuring and improving the quality of passenger transportation with public transport. The

management and control of the transportation process carried out by the municipal bus enterprise and individual entrepreneurs should be executed through the central dispatch service (CDS) of the Administration of the City of Volzhsky. It is also necessary to provide the City Administration a possibility to control the quality of passenger transportation and to coordinate municipal and private carriers through the CDS. The planned structure of traffic management in the city of Volzhsky is shown in Pic. 7.

To improve quality of public passenger transportation, it is also necessary to apply modern methodologies proposed by leading researchers [21].

Conclusions.

The performed calculation of the level of quality of passenger service provided by urban public transport made it possible to identify shortcomings in organisation and to develop appropriate measures to improve the services provided to the residents of the city of Volzhsky by ensuring pedestrian accessibility and offering buses that provide comfortable conditions for passengers and are more environmentally friendly. The activities are considered and embodied by the City Administration when developing planning documents on scheduled transportation.

REFERENCES

1. Gudkov, V. A., Mirotn, L. B., Velmozhin, A. V., Shiryayev, S. A. Passenger automobile transportation: Textbook [*Passazhirskie avtomobilnye perevozki: Uchebnik*]. Moscow, Goryachaya liniya. Telekom, 2006, 447 p. [Electronic resource]: <https://litmy.ru/knigi/biznes/201838-passazhirskie-avtomobilnye-perevozki.html>. Last accessed 03.09.2020.
2. Kravchenko, E. A., Shabanov, A. V. Regional logistics systems of public transport: methodology of formation and management mechanism [*Regionalnie logisticheskie sistemy obshchestvennogo transporta: metodologiya formirovaniya i mekhanizm upravleniya*]. Rostov-on-Don, Publishing house SKNTSVSH, 2001, 205 p.
3. Volodkin, P. P. Optimization of transport services for passengers of the municipal formation taking into account social factors. D.Sc. (Eng) thesis [*Optimizatsiya transportnogo obsluzhivaniya passazhirov munitsipalnogo obrazovaniya s uchetom sotsialnykh faktorov. Dis... doc. tekhn. nauk*]. Volgograd, Volgograd State Technical University, 2011, 368 p. [Electronic resource]: <https://www.disscat.com/content/optimizatsiya-transportnogo-obsluzhivaniya-naseleniya-munitsipalnykh-obrazovaniy-s-uchetom-s>. Last accessed 03.09.2020.
4. Bolshakov, A. M. Improving the level of passenger service by buses in cities and suburban traffic based on an integrated system of transport quality management. Ph.D. (Eng) thesis [*Povyshenie urovnya obsluzhivaniya passazhirov*

avtobusami v gorodakh i prigorodnom soobshchenii na osnove kompleksnoi sistemy upravleniya kachestvom perevozk / Dis... kand. tekhn. nauk]. Moscow, 1981, 184 p.

5. Artemiev, S. P., Donskoy, V. M. Development and organization of intercity road transportation [Razvitiye i organizatsiya mezhdugorodnykh avtomobilnykh perevozk]. Moscow, Transport publ., 1984, 128 p.

6. Karaeva, M. R. Logistic model of improving the management of urban passenger transportation. Abstract of Ph.D. (Economics) [Logisticheskaya model sovershenstvovaniya upravleniya gorodskimi passazhirkimi perevozkami. Avtoref. Dis.kand.ekon.nauk]. Rostov-on-Don, RSCU, 2014, 23 p. [Electronic resource]: http://emsu.ru/face/dissert/avtoreferat_karaevamr.pdf. Last accessed 03.09.2020.

7. Sectoral regional standards for quality of transport services for the population on regular municipal and intermunicipal routes of public road transport. Approved by the order of the Ministry of Transport and Roads of the Republic of Tatarstan dated January 16, 2008 No. 3 [Otraslevie regionalnie normativy kachestva transportnogo obsluzhivaniya naseleniya po regulyarnym munitsipalnym i mezhmunitsipalnym marshrutam avtomobilnogo transporta obshchego polzovaniya. Utv. Priказom Mintransa i dorozhnogo khozaystva Respubliki Tatarstan ot 16 yanvarya 2008 goda № 3.]. [Electronic resource]: <http://docs.cntd.ru/document/917028298>. Last accessed 03.09.2020.

8. GOST [State standard] R51004-96. Transport services. Passenger Transportation. Nomenclature of quality indicators [GOST P51004-96. Uslugi transportnie. Passazhirske perevozki. Nomenklatura pokazatelei kachestva]. [Electronic resource]: <http://docs.cntd.ru/document/1200010825>. Last accessed 03.09.2020.

9. GOST [State standard] R51004-2001. Nomenclature of quality indicators of passenger transportation [GOST R51004-2001. Nomenklatura pokazatelei kachestva passazhirske perevozki]. [Electronic resource]: <http://docs.cntd.ru/document/1200010825>. Last accessed 03.09.2020.

10. GOST [State standard] R51825-2001. Passenger road transportation services. General requirements [GOST R51825-2001. Uslugi passazhirskego avtomobilnogo transporta. Obshchie trebovaniya]. [Electronic resource]: <http://docs.cntd.ru/document/1200028574>. Last accessed 03.09.2020.

11. GOST [State standard] R51006-96. Transport services. Terms and Definitions [GOST R51006-96. Uslugi transportnie. Terminy i opredeleniya]. [Electronic resource]: <http://docs.cntd.ru/document/1200000872>. Last accessed 03.09.2020.

12. GOST [State standard] R51616-2000. Road vehicles. Internal noise. Acceptable levels and test methods [GOST R51616-000. Avtomobilnie transportnie sredstva. Shum vnutrenniy. Dopustimie urovni i metody ispytaniy]. [Electronic resource]: <http://docs.cntd.ru/document/1200009078>. Last accessed 03.09.2020.

13. OST [sectoral standard] 200-004-95. Quality Scorecard. Transportation of passengers by buses. Nomenclature of indicators [OST 200-004-95. Sistema pokazatelei kachestva. Perevozka passazhirov avtobusami. Nomenklatura pokazatelei].

14. Decree of the Ministry of Transport of Russia dated January 31, 2017 No. NA-19-r «Social standard of transport services for transportation of passengers and luggage by road and urban land electric transport» (revised on April 13, 2018) [Rasporyazhenie Mintransa Rossii ot 31.01.2017 № NA-19-r «Sotsialnyi standart transportnogo obsluzhivaniya perevozk passazhirov i bagazha avtomobilnym transportom i gorodskim nazemnym elektricheskim transportom» (red. 13.04.2018)]. [Electronic resource]: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/6802>. Last accessed 03.09.2020.

15. Report on the research work «Optimization of the route network in the urban district – the city of Volzhsky, Volgograd region, to ensure transport accessibility for the city population, taking into account the quality indicators of transportation services provided to the population». Contract No. 11/41-19 of 29.04.2019 of Volszhsky polytechnic institute with the Committee for Safety of Life Activity of the Administration of the Urban District – the city of Volzhsky [Otchet k nauchno-issledovatel'skoi rabote «Optimizatsiya marshrutnoi seti v gorodskom okruge – gorod Volzhsky Volgogradskoi oblasti s tselyu obespecheniya transportnoi dostupnosti naseleniya goroda s uchetom pokazatelei kachestva transportnogo obsluzhivaniya naseleniya». Dogovor № 11/41-19 ot 29.04.2019 VPI s Komitetom po bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti administratsii gorodskogo okruga – gorod Volzhsky].

16. ODM [sectoral road methodological document] 218.2.007-2011. Guidelines for design of measures to ensure access for disabled people to road facilities [ODM 218.2.007-2011. Metodicheskie rekomendatsii po proektirovaniyu meropriyatiy po obespecheniyu dostupa invalidov k ob'ektam DH]. [Electronic resource]: <http://docs.cntd.ru/document/1200101845>. Last accessed 03.09.2020.

17. Rules for transportation of passengers and luggage by road and urban land electric transport. Resolution of the Government of the Russian Federation No. 112 dated February 14, 2009 (as amended by Resolution No. 528 dated June 9, 2014) [Pravila perevozk passazhirov i bagazha gorodskim azemnym elektricheskim transportom. PP RF № 112 ot 14.02.2009 (v red. PP RF ot 09.06.2014 № 528)]. [Electronic resource]: <https://base.garant.ru/195015/>. Last accessed 03.09.2020.

18. SP [Construction rules] 59.13330.2016. Accessibility of buildings and structures for people with limited mobility. Actual ed. of SNiP [construction norms and rules] 35-01-2001 [SP 59.13330.2016. Dostupnost' zdanii i sooruzhenii dlya malomobilnykh grupp naseleniya. Aktualnaya red. SNiP 35-01-2001]. [Electronic resource]: <http://docs.cntd.ru/document/456033921>. Last accessed 03.09.2020.

19. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation No. 347 dated 01.12.2015 «On approval of the Procedure for ensuring the conditions of accessibility for passengers with limited mobility of vehicles of road transport and urban ground electric transport, bus stations, bus terminals and services provided, as well as providing them with the necessary assistance» [Priказ Mintransa RF № 347 ot 01.12.2015 «Ob utverzhdenii Poryadka obespecheniya uslovii dostupnosti dlya passazhirov iz tsisla invalidov transportnykh sredstv avtomobilnogo transporta i gorodskogo nazemnogo elektricheskogo transporta, avtovokzalov, avtostantsii i predostavlyayemykh uslug, a takzhe okazaniya im pri etom neobkhodimoi pomoshchi»]. [Electronic resource]: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71294366/>. Last accessed 03.09.2020.

20. Chernova, G. A., Velikanova, M. V., Kokshilov, V. A. Ensuring the quality of passenger transportation by public transport in the city of Volzhsky: Monograph [Obespechenie kachestva perevozk passazhirov obshchestvennym transportom goroda Volzhskogo: Monografiya]. Volgograd, VolgSTU, 2019, 259 p.

21. Yakunina, N. V. Methodology for improving the quality of passenger transportation by public passenger transport. Abstract of D.Sc. (Eng) thesis [Metodologiya povysheniya kachestva perevozk passazhirov obshchestvennym passazhirkim transportom. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk]. Orenburg, Orenburg State University, 2013, 32 p. [Electronic resource]: http://artlib.osu.ru/web/avtoref_all/4051_20140123.pdf. Last accessed 03.09.2020.





Анализ качества сайта грузоперевозчика с целью повышения лояльности клиентов-частных лиц



Юсупова Ольга Анатольевна – Российский университет транспорта, Москва, Россия.*

Ольга ЮСУПОВА

В период пандемии конкурентная борьба за потребителя из формата живого общения переместилась в плоскость удалённого взаимодействия в глобальном пространстве. Исключением не является и сфера грузоперевозок, где высококонкурентный рынок характеризуется присутствием большого числа транспортно-логистических компаний, активно применяющих в борьбе за клиента дистанционные технологии, ведущее место в продвижении которых принадлежит сайту компании. С позиции маркетинга сайт признаётся одним из ведущих инструментов продаж. Компании-грузоперевозчики, базирующие свою деятельность на принципах клиентоориентированности, уделяют вопросам качества собственного сайта приоритетное внимание, в связи с чем разработка методики его оценки, являющаяся целью данного исследования, имеет особую актуальность.

В качестве объекта исследования был выбран сайт одной из крупнейших компаний, предметом исследования стал раздел сайта, обеспечивающий предоставление услуги по перевозке сборных грузов по договорам с частными лицами – отправителями груза.

В статье предложена авторская методика оценки качества сайта грузоперевозочной компании с позиций клиентоориентированности. В основе методики лежит авторская система общих и специальных критериев, описывающих качество сайта, оцениваемых по стобалльной шкале значений и десятибалльной шкале значимости для респондента. Метод оценки – открытый опрос потребителей в Глобальной сети. Разработанная методика является универсальной и может быть использована любой компанией-грузоперевозчиком для повышения качества транспортного обслуживания.

Предложенная в рамках статьи методика позволяет диагностировать отдельные «узкие», по мнению потребителей услуги, места раздела сайта компаний, посвящённого предоставлению услуги. Редуцирование клиентских комментариев относительно выставленных баллов позволило выявить причины более низких оценок и предложить обоснованные мероприятия по совершенствованию сайта компаний в целях повышения уровня качества транспортного обслуживания.

Ключевые слова: транспорт, качество сайта транспортной компании, критерии качества, грузовые перевозки, клиентоориентированность, сборные грузы.

*Информация об авторе:

Юсупова Ольга Анатольевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры финансы и кредит Российского университета транспорта, Москва, Россия, qwerty6020@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 05.09.2020, принята к публикации 03.11.2020.

For the English text of the article please see p. 146.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Общемировой всплеск развития дистанционных технологий работы с клиентами в период пандемии затронул все сферы бизнеса. Конкурентная борьба за потребителя из формата живого общения переместилась в сферу удалённого взаимодействия в глобальном пространстве. В связи с этим бизнес-модель хозяйствующих субъектов по всему миру переживает серьёзные трансформации, адаптируясь к новым условиям, где развитость цифровых ресурсов играет первоочерёдную роль в формировании финансовых результатов компании.

Исключением не являются и грузоперевозки, где высококонкурентный рынок характеризуется присутствием большого числа транспортно-логистических компаний, активно применяющих в борьбе за клиента дистанционные технологии, ведущее место в продвижении которых принадлежит цифровому «лицу» компании в мире бизнеса — её сайту. Именно он с позиции маркетинга является одним из ведущих инструментов продаж. Компании-грузоперевозчики, базирующие свою деятельность на принципах клиентоориентированности, уделяют вопросам качества собственного сайта приоритетное внимание, в связи с чем разработка методики его оценки, являющаяся *целью* данного исследования, имеет особую актуальность.

Проблематика качества оказания услуг перевозки сборных грузов изучалась автором в предшествующих данной публикации исследованиях [1]. Была предложена оригинальная авторская система критериев оценки качества грузоперевозок для клиентов-физических лиц с уклоном на клиентоориентированные параметры, основанная на сборе мнений самих клиентов, разработана методика их оценки. Методика нашла практическое применение в анализе сервиса при заключении договоров с физическими лицами-грузоотправителями на перевозку сборных грузов.

В результате был выявлен ряд «узких мест» указанного сервиса, среди них — неудовлетворительная оценка потребителями возможности удалённого заказа [2–4] услуг через сайт компании. Целями данной статьи являются разработка авторской *методики* оценки качества сайта транспортной

компании, углублённый анализ причин оценок качества этого ресурса, даваемых пользователями услуги, разработка обоснованных путей улучшения качества услуги, предоставляемой с использованием цифрового формата.

Достижение обозначенной цели ставит перед исследователем ряд задач, в том числе:

- обоснование системы критериев оценки качества сайта компании-грузоперевозчика;
- разработка методики их оценки;
- формирование фокус-групп для экспертной оценки;
- проведение опроса среди респондентов;
- SWOT-анализ и оценка результатов, формирование выводов и предложений.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КРИТЕРИЕВ

По мнению автора, система критериев оценки качества сайта должна быть построена таким образом, чтобы, с одной стороны, у экспертов была возможность оценить общие характеристики сайта, с другой — его специфическое наполнение, обусловленное видом оказываемых услуг, в данном случае — перевозка сборных грузов по договорам с физическими лицами. Поэтому автором было принято решение дифференцировать характеристики на две группы: общие и специальные, так как их оценка обеспечит наиболее полное исследование клиентоориентированности сайта транспортной компании.

Поскольку универсальных критериев для оценки качества сайта с позиций клиентоориентированности не существует, на основе [5] автором были составлены группы характеристик, наиболее доступных для понимания пользователю — потенциальному клиенту грузовой компании. В основу же системы специальных критериев был положен сам механизм оказания услуги по перевозке сборных грузов по договорам с физическими лицами, включая предварительный расчёт стоимости на сайте перевозчика, заключение договора перевозки, заказ дополнительных услуг, оплату, отслеживание груза.

Критерии, предлагаемые автором в рамках клиентоориентированного подхода, представлены на рис. 1.





Рис. 1. Система критериев оценки сайта грузоперевозочной компании (разработана автором).

АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ

Представленная на рисунке система критериев была положена в основу анкетирования, организованного в Глобальной сети среди пользователей услуги по перевозке сборных грузов для физических лиц посредством сервиса «Google Формы». Анкета была предложена 135 респондентам-пользователям услуги одной из крупнейших компаний в сфере перевозки сборных грузов за период апрель–июнь 2020 года. Эксперты оценивали критерии качества сайта по столбальной шкале, а также их значимость по десятибалльной шкале, где 0 — это низкая значимость, 10 — высокая значимость. При выставлении оценки ниже 100 баллов респондентам предлагалось оставить комментарий в свободном поле. Последующая обработка этих

комментариев позволила оценить объективность выставленных оценок, выделить наиболее часто встречающиеся замечания, проанализировать их суть и, таким образом, сформировать наиболее точные рекомендации по совершенствованию сайтов компаний. Формулировка критериев осуществлена автором таким образом, чтобы, с одной стороны, сделать их понятными для респондентов-физических лиц, с другой — позволить провести оценку качества оказываемой услуги и выявить состав проблем, требующих решения с точки зрения потребителей [1; 6–7].

Итоги проведённого опроса в графическом виде представлены на рис. 2.

Проведённый опрос позволил выявить ряд сильных и слабых сторон с точки зрения клиентской оценки качества сайтов,

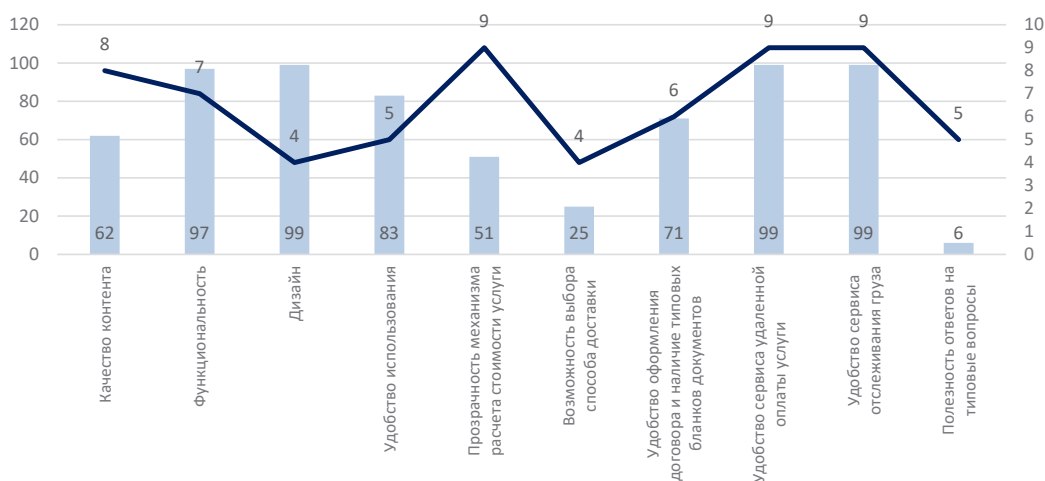


Рис. 2. Результаты проведённого опроса среди респондентов
(составлено автором по результатам опроса).

представляющих указанную услугу. Эксперты высоко оценили такие критерии, как функциональность (лёгкость ориентации, навигации, время отклика, правильность работы ссылок), дизайн (качество отображения, удобство шрифта, наличие лишних элементов), работу сервиса удалённой оплаты (достаточно ввести номер заказа и платёжные данные карты) и отслеживания груза (по номеру заказа), при этом последние два критерия для потребителей являются высоко значимыми (9 баллов по десятибалльной шкале).

С помощью проведённой экспертной оценки удалось вместе с тем выявить ряд проблем в восприятии потребителями качества сайтов компаний, среди них:

- «Качество контента» — его эксперты оценили на 62 балла, полагая его значимым (8 баллов);
- «Прозрачность механизма расчёта стоимости услуги» — его эксперты оценили на 51 балл (значимость для них 9 баллов);
- «Возможность выбора способа доставки» — его эксперты оценили на 25 баллов (значимость — 4 балла);
- «Полезность ответов на типовые вопросы» — его эксперты оценили на 6 баллов (значимость — 5 баллов).

По причине того, что для опрошенных наиболее значимы оказались такие характеристики, как «Качество контента» (полнота контента, реклама, полезные ссылки, обратная связь) и «Прозрачность механизма расчёта стоимости услуги», исследуем причины их низкой оценки более детально.

Достижение этой цели поставило перед автором ряд задач:

- изучение комментариев респондентов к выставленным оценкам в свободном поле анкеты;
- при необходимости их интерпретация, проверка истинности (когда в них содержались сравнения с сайтами конкурентов и пр.);
- выделение наиболее часто встречающихся ответов, исключение комментариев, имеющих единичный характер;
- систематизация комментариев.

Проведённое исследование позволяет заключить, что комментарии пользователей к оценкам критериев «Качество контента» и «Прозрачность механизма расчёта стоимости услуги» схожи, по этой причине было принято решение объединить их в один блок. Автором было детально изучено содержание оставленных комментариев, часть из них содержала жалобы, выражение недовольства в адрес качества услуг, названия других перевозчиков, отсылки на сайты других транспортно-логистических компаний. Информация, содержащаяся в комментариях, подвергалась проверке, необоснованные эмоциональные претензии не учитывались при обработке результатов исследования.

Анализ ответов респондентов позволил систематизировать клиентские требования к сайтам в части перевозки сборных грузов по договорам с физическими лицами (условно «узкие места» подобных сайтов):





<https://old-visual.rzd.ru/dbnm/images/56/12488/50389>

- предоставление клиентам возможности указать характер сборного груза (например, интерьер, запчасти, техника, изделия из стекла и др.) и его особых характеристик (хрупкий, сыпучий, жидкий и др.) при предварительном расчёте стоимости перевозки на основе выпадающего списка, что позволит оценить её стоимость более точно, определить конкурентоспособность предложения компании, принять обоснованное решение;

- указание количества грузовых мест — клиенту важно понять влияние количества мест на стоимость перевозки и ответить себе на вопрос, стоит ли переупаковать груз перед отправкой для снижения цены, либо объединение мест приведёт к увеличению веса и изменению категории груза на «негабаритный»;

- включение в графический интерфейс сайта онлайн-калькулятора объёма груза;

- при расчёте стоимости заказа обеспечение возможности указать объявленную стоимость груза, что позволяет клиенту принять решение либо в пользу высокой объявленной стоимости, либо в пользу страхования груза;

- выбор через сайт дополнительных услуг на основе перечня и включение их стоимости в заказ уже на этапе предварительного самостоятельного расчёта. Речь идёт о таких услугах, упомянутых в комментариях опрошенных экспертов, как выезд на адрес приёма и сдачи груза, по-

грузо-разгрузочные работы, проведение отгрузки в нерабочее время, заезд на второй адрес, упаковка (палетный борт, деревянная обрешётка, жёсткий короб, мешки, дополнительная упаковка, воздушно-пузырьковая плёнка, картонные коробки, специальная упаковка для автостекол, специальная упаковка для автозапчастей), маркировка, хранение, страхование, экспедирование. Ссылка на необходимость включения в расчёт стоимости заказа дополнительных услуг встречалась в комментариях наиболее часто.

Анализ результатов опроса, представленных на рис 2, также свидетельствует о низкой удовлетворённости потребителей «Возможностью выбора способа доставки» (25 баллов при значимости 4 балла) и «Полезностью ответов на типовые вопросы» (6 баллов при значимости 5 баллов).

Что касается первой характеристики, то относительно неё по итогам анализа комментариев респондентов у автора сформировалось мнение о целесообразности дополнительного сегментирования клиентов компаниями, выявление их уникальных потребностей по приоритетам скорости оказания услуги, например, обычной, ускоренной, экспресс доставки. Это будет способствовать повышению их лояльности.

Критерий «Полезность ответов на типовые вопросы» относится к оценке раздела, который на сегодняшний день является

неотъемлемой частью программы развития лояльности клиентов для любой компании, упрощает удалённое взаимодействие, ускоряет принятие решения потенциальным заказчиком, транслирует клиентоориентированность компаний неограниченному кругу лиц.

В комментариях к ответам на вопросы эксперты положительно оценивали характеристики простоты работы с сайтом и лёгкости ориентации, они отразились на высоких баллах критериев удобства использования, функциональности, дизайна. Подробно суть этих комментариев не рассматривалась в рамках статьи в силу сбалансированного соотношения оценки и значимости показателей. Однако следует отметить, что в комментариях пользователей содержались запросы на сокращение числа переходов для достижения конечной цели, расширения перечня типовой документации на сайте компании, а также организации дистанционного обслуживания без визита в офис.

ВЫВОДЫ

Представленная в статье авторская методика оценки качества сайта с позиций клиентоориентированности является универсальной и может быть использована любой компанией-грузоперевозчиком для повышения качества обслуживания.

В основе методики лежат предложенные автором общие и специальные критерии. Их экспертная оценка путём открытого опроса потребителей в Глобальной сети позволила диагностировать условно «узкие места» (с точки зрения потребителей) раздела сайта типовой компании по предоставлению услуги перевозки сборных грузов. Проблемы были выявлены в таких характеристиках, как контент, расчёт стоимости услуг, выбор способа доставки, ответы на типовые вопросы. Редуцирование клиентских комментариев относительно выставленных баллов позволило выявить причины низких оценок и предложить обоснованные мероприятия по совершенствованию сайта компании в целях повышения уровня качества транспортно-го обслуживания.

Авторская методика, составляющая содержание данной статьи, может быть

использована и для оценки качества сайтов международных транспортно-логистических компаний, среди которых лидерами являются: DHL, UPS, Federal Express, SNCF, Kuehne + Nagel International AG, DB Schenker, Nippon Express Co, C.H. Robinson, Panalpina. Проведённое исследование показало, что логика построения их сайтов соответствует описанной в специальных критериях оценки качества. Особенностью является то, что осуществляемые ими перевозки носят, как правило, международный характер, поэтому потенциальному клиенту предлагается выбрать способ доставки: авиа-, авто-, морские, железнодорожные перевозки. Кроме того, при формировании стоимости услуги необходимо дополнительно оценить наличие на сайте компании выпадающего перечня дополнительных сборов за доставку в отдалённые регионы, а также топливных сборов, ставка которых зависит от цены на авиационное топливо.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юсупова О. А. Анализ качества обслуживания грузоотправителей-частных лиц // Мир транспорта. — 2020. — № 2. — С. 214–225. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1894/2312>. Доступ 30.06.2020. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-214-224>.
2. Годовой отчёт 2018 АО «РЖД Логистика». [Электронный ресурс]: <https://www.rzdlog.ru/upload/iblock/23e/23e15f4bc9e30e74a88a11d443d13624.pdf>. Доступ 30.06.2020.
3. ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения (с Изменением № 1). Дата введения 1979-07-01. [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/1200001719>. Доступ 30.06.2020.
4. Единая политика клиентоориентированности холдинга «РЖД» в области грузовых перевозок. [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/456025278>. Доступ 30.06.2020.
5. ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010-2015. Информационные технологии (ИТ). Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения (SQuaRE). Модели качества систем и программных продуктов. Дата введения 2016-06-01. [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/1200121069>. Доступ 30.06.2020.
6. Исследование в сфере оценки потребителями качества услуг на рынке грузоперевозок железнодорожным транспортом / Отчёт ежеквартальных исследований Индекса качества. — М.: РЖД-Партнёр, 2012–2018. [Электронный ресурс]: <https://www.rzd-partner.ru/specials/index-kachestva-uslug-na-zh-d-transporte/>. Доступ 30.06.2020.
7. Обзор отрасли грузоперевозок в России 2019 год. [Электронный ресурс]: [https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-transportation-services-2019-rus/\\$FILE/ey-transportation-services-2019-rus.pdf](https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-transportation-services-2019-rus/$FILE/ey-transportation-services-2019-rus.pdf). Доступ 30.06.2020.





Analysis of Quality of a Carrier's Website to Increase Loyalty of Individual Customers



Yusupova, Olga A., Russian University of Transport, Moscow, Russia.*

Olga A. YUSUPOVA

ABSTRACT

During the pandemic, the competition for the consumer has moved from the format of live communication to the plane of remote interaction in the global environment. The sphere of cargo transportation makes no exception for that, since a highly competitive market is characterized by the presence of many transport and logistics companies that to struggle for a client actively use remote technologies, the leading place among which belongs to the company's website. From a marketing standpoint, the website is recognized as one of the leading sales tools. Freight carriers that base their activities on the principles of customer focus give priority attention to quality of their own website, and therefore development of a methodology for its assessment, which is the purpose of this study, is of relevance.

The website of a leading company was chosen as the object of the study, while the section of the website dedicated to providing service for transportation of groupage cargo

under contracts with individual shippers was its subject.

The article proposes the author's method of assessing quality of the website of freight carriers from the standpoint of customer focus. The methodology is based on the author's system of general and special criteria describing quality of the website and assessed according to a 100-point scale of values and a ten-point scale of significance for a respondent. The assessment method is an open survey of consumers in the Global Network. The developed methodology is universal and can be used by any cargo carrier to improve quality of transport services.

Within the framework of the methodology suggested in the article, it is possible to diagnose, based on customers' opinions, the «bottlenecks» of the section of a company's website devoted to providing the service. Reducing customers' comments regarding the points awarded allowed the author to identify the reasons for lower ratings and to propose reasonable measures to update corporate website to improve quality of transport services.

Keywords: transport, quality of the website of a transport company, quality criteria, freight transportation, customer focus, groupage cargo.

*Information about the author:

Yusupova, Olga A. – Ph.D. (Economics), Associate Professor at the Department of Finance and Credit of Russian University of Transport, Moscow, Russia, qwerty6020@mail.ru.

Article received 05.09.2020, accepted 03.11.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 140.

Problem's scope

The worldwide surge in development of remote technologies for working with clients during the pandemic affected all areas of business. The competitive struggle for the consumer has moved from the format of live communication to the plane of remote interaction in the global space. In this regard, the business model of business entities around the world is undergoing serious transformations, adapting to new conditions, where development of digital resources plays a primary role in shaping corporate financial results.

Cargo transportation is not an exception, since its highly competitive market is characterized by the presence of a large number of transportation and logistics companies that actively use remote technologies to struggle to get a client, and corporate website, as a digital image of a company in the business world plays the leading role to promote remote technologies offered to customers. The website, from the marketing position, is one of the leading sales tools. Freight carriers that base their activities on the principles of customer focus give priority attention to quality of their own website, so development of a methodology for its assessment, which is the *purpose* of this study, is quite relevant.

The problem of quality of provision of services for transportation of groupage cargo was studied by the author during other research prior to that publication [1]. An original author's system of criteria for assessing quality of cargo transportation for individual customers with a focus on customer-oriented parameters was proposed, and a methodology for their assessment based on survey of opinions of customers themselves was developed. The method has also found practical application in the analysis of the service when concluding contracts with individual shippers for transportation of groupage cargo.

As a result, a number of «bottlenecks» of the service were identified, that particularly comprised unsatisfactory assessment by consumers of the possibility of remote ordering of services [2–4] through the company's website. The objective of this article is to develop the author's methodology for assessing quality of a transportation

company's website, to conduct in-depth analysis of the reasons for quality rating of this resource by service users, and to develop reasonable ways to improve the services provided using digital format.

Achieving the designated objective sets several tasks for the researcher, including:

- Substantiation of the system of criteria for assessing quality of the website of a freight carrier.
- Development of a methodology for the assessment of the compliance with those criteria.
- Formation of focus groups for expert assessment.
- Conducting a survey among individual respondents.
- SWOT analysis and evaluation of its results, development of conclusions and proposals.

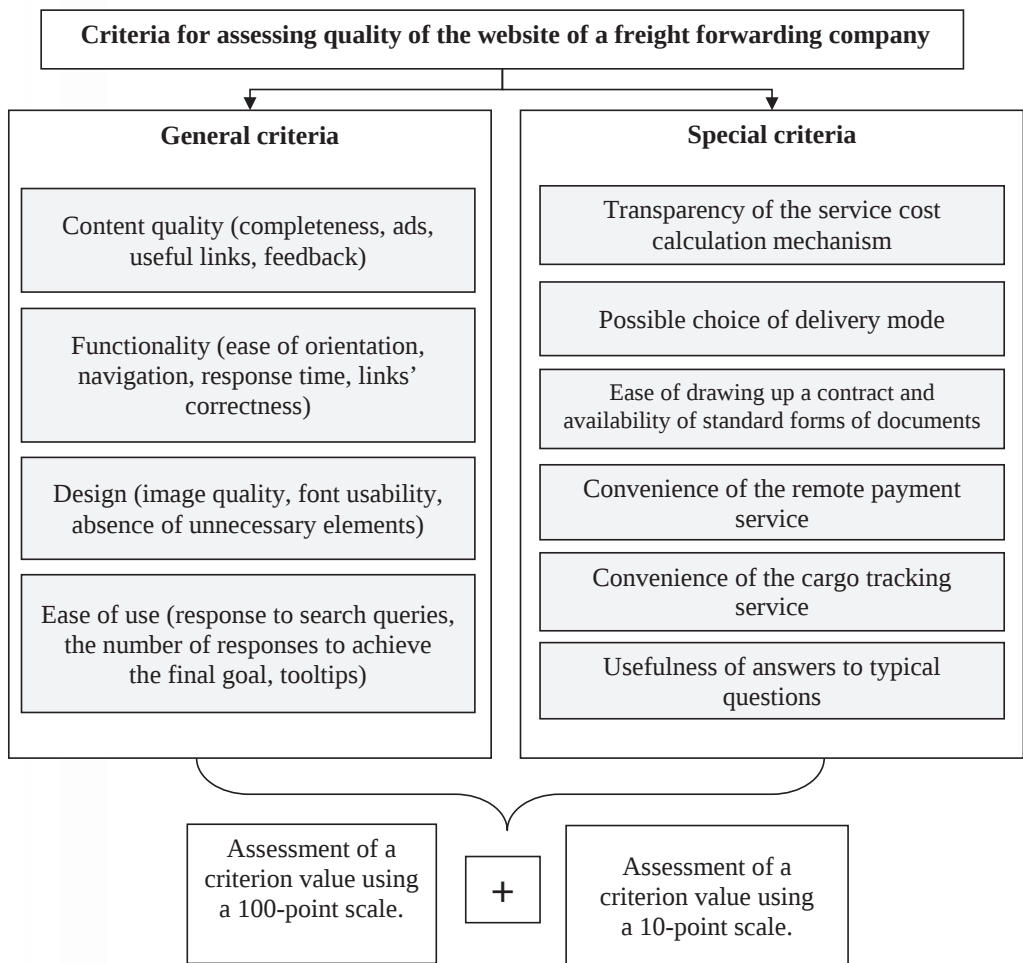
Development of criteria system

According to the author, the system of criteria for assessing quality of the website should be built in such a way that the experts could assess general characteristics of the website, on the one hand, and its specific content, explained by the type of services provided (which in the considered case is transportation of groupage cargo under contracts with individual shippers) on the other hand. Therefore, the author decided to differentiate the characteristics into two groups (general and specific ones), as their assessment will provide the most complete study of the customer focus of a transportation company's website.

Since there are no universal criteria for assessing quality of a website from the standpoint of customer focus, the author, based on [5], has formulated groups of characteristics that are most understandable for a user who is a potential client of a freight company. The system of special criteria was based on the mechanism of providing services for transportation of groupage cargo under contracts with individual shippers, including a preliminary calculation of the cost on the carrier's website, signing of a transportation contract, ordering additional services, payment, tracking the cargo.

The criteria proposed by the author in the framework of the client-oriented approach are shown in Pic. 1.





Pic. 1. System of criteria for assessment of the website of a freight carrier (developed by the author).

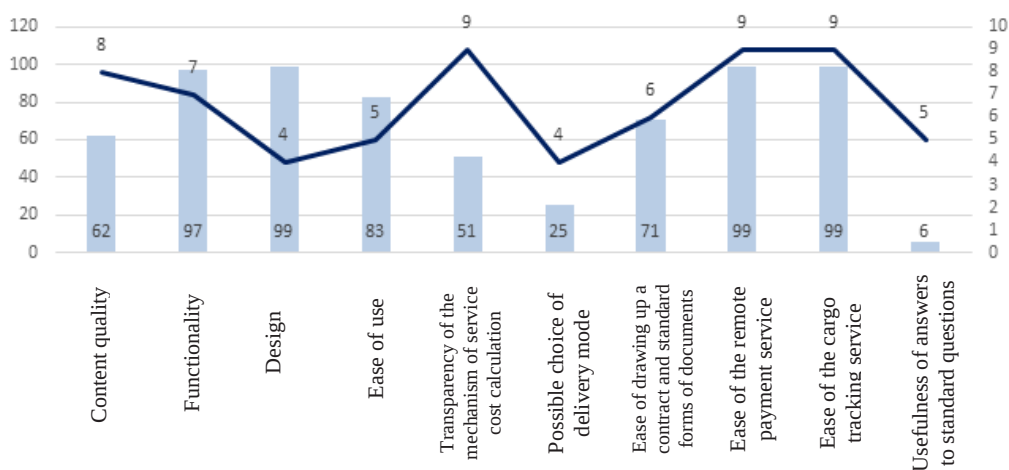
Approbation of the technique

The system of criteria presented in the picture served as the basis for a survey organized in the Global Network among users of the groupage cargo transportation service for individual shippers through the Google Forms service. The questionnaire was offered to 135 respondents who used services of one of the largest companies in the field of transportation of groupage cargo in April–June 2020. The experts evaluated the website compliance with quality criteria using a 100-point scale, as well as the significance of criteria using a 10-point scale, where 0 meant low significance, and 10 meant high significance. If the respondents were awarding a score below 100 points, they were asked to leave a comment in a free field. The subsequent processing of these comments made it possible

to assess objectivity of ratings, highlight the most common remarks, analyse their essence, and thus form the most accurate recommendations for improving corporate websites. The formulation of criteria was carried out by the author in such a way as to make them understandable for individual respondents, on the one hand, and, on the other hand, to make it possible to assess quality of the service provided and identify the problems that need to be addressed from the point of view of consumers [1; 6–7].

The results of the survey are presented graphically in Pic. 2.

The survey made it possible to identify a number of strengths and weaknesses in the client's assessment of quality of the websites providing the considered service. Experts highly appreciated such criteria as functionality (ease of orientation, navigation, response



Pic. 2. Results of the survey among respondents (compiled by the author based on the survey results).

time, correct links), design (image quality, font usability, presence of redundant elements), remote payment service (it is enough to enter the order number and card payment data) and cargo tracking (using order number), and the last two criteria were assessed as highly significant for consumers (9 points on a 10-point scale).

With the help of expert assessment, it was possible to identify a number of problems in perception of quality of a company's website by consumers, among them:

- «Content quality» got 62 points from customers, while its significance received 8 points.
- «Transparency of the mechanism for calculating the cost of the service» got 51 points, while its significance received 9 points.
- «Possibility of choosing a delivery mode» got 25 points, while its significance received 4 points.
- «Usefulness of answers to standard questions» got 6 points, while its significance received 5 points.

Due to the fact that the characteristics of «Content quality» (content completeness, advertising, useful links, feedback) and «Transparency of the mechanism for calculating the cost of a service» turned to be the most significant for the respondents, it is worth investigating the reasons for their low rating.

To achieve this goal the author had to solve a number of tasks:

- To study the comments of respondents made in the free field of the questionnaire.

- To proceed with their interpretation, verification of their truthfulness (when they contained comparisons with competitors' websites, etc.).

- To highlight the most frequent answers, excluding comments of a single nature.

- To systemise the comments.

The conducted research allows us to conclude that the comments of users to assessment of criteria «Content quality» and «Transparency of the service cost calculation mechanism» are similar, for this reason it was decided to combine them into a single block. The author studied in detail the content of the comments left. Some of them contained complaints, dissatisfaction with quality of services, names of other carriers, references to the websites of other transportation and logistics companies. The information in the comments was checked, and unfounded emotional claims were not considered when processing the survey results.

The analysis of the respondents' answers allowed the author to systematise the client requirements for the websites in terms of transportation of groupage cargo under contracts with individual shippers (conditionally called «bottlenecks» of relevant websites):

- Providing customers with the opportunity to indicate the nature of groupage cargo (for example, furniture, spare parts, equipment, glass products, etc.) and its special characteristics (fragile, bulk, liquid, etc.) with a preliminary calculation of the cost of transportation based on the drop-down list,





<https://old-visual.rzd.ru/dbmm/images/56/12488/50389>

which will allow the customers to determine its rate more accurately, to assess the competitiveness of a company's proposal, and to make an informed decision.

- Indication of the number of packages since it is important for the client to understand the influence of the number of pieces on the cost of transportation and to answer the question whether it is worth repackaging the cargo before shipment to reduce price or combining the pieces will lead to an increase in weight and change the category of cargo to «oversized».

- Inclusion of an online calculator of cargo volume into the graphical interface of the website.

- When calculating the cost of an order, it is important to get a possibility to indicate the declared value of cargo, which allows the client to decide either in favour of a high declared value or in favour of cargo insurance.

- Choice through the website of additional services based on the proposed list and inclusion of their cost in the order already at the stage of preliminary self-calculation. This refers to such services mentioned in the comments of the interviewed experts as: arrival at the site of acceptance and delivery of goods, loading and unloading operations, shipping during off-hours, arrival at a second address, packaging (pallet board, wooden crate, rigid

box, bags, additional packaging, bubble wrap, cardboard boxes, special packaging for auto glass, special packaging for auto parts), labelling, storage, insurance, forwarding. The reference to the need to include additional services in the calculation of the cost of ordering was found most often in the comments.

Analysis of the survey results presented in Pic. 2 also indicates low consumer satisfaction with the «Possibility of choosing a delivery mode» (25 points awarded with a significance evaluated at 4 points) and «Usefulness of answers to standard questions» (6 points with a significance of 5 points).

As for the first characteristic, according to the results of the analysis of the respondents' comments, the author formed an opinion about advisability of additional segmentation of customers by the companies, of identification of their unique needs according to the priorities of delivery speed (e.g., regular, expedited, express delivery). This will help increase their loyalty.

The criterion «Usefulness of answers to standard questions» now refers to the assessment of the section which constitutes an integral part of the customer loyalty development program for any company, simplifies remote interaction, speeds up decision making by a potential customer, and broadcasts a

company's customer focus to an unlimited number of people.

In the comments to the answers to the questions, the experts positively assessed the characteristics of simplicity of working with a company's website and ease of orientation, those features were reflected in high scores of criteria assessing usability, functionality, and design. The essence of these comments was not considered in detail within the framework of the article due to the balanced ratio of assessment score and significance of indicators. However, it should be noted that users' comments contained requests to reduce the number of transitions to achieve the goal, to expand the list of standard documentation on the website, and to organise remote service without a visit to the office.

Conclusions.

The author's methodology for assessing quality of the website from the standpoint of customer focus presented in the article seems to be of universal nature and can be used by any freight carrier to improve quality of service provided.

The methodology is based on the general and specific criteria proposed by the author. Their expert assessment through an open survey among customers in the Global Network made it possible to diagnose bottlenecks (as they are seen by customers) in the sections of websites of a typical company operating in the field of transportation of groupage cargo. Problems were identified in such characteristics as content, calculation of the cost of services, choice of delivery mode, answers to standard questions. Reducing customers' comments regarding the points awarded allowed the researcher to identify the reasons for low rating and to propose reasonable measures to update companies' websites to improve quality of transportation services.

The author's methodology, which is the content of this article, can be used to assess quality of websites of international transport and logistics companies, comprising the leading ones: DHL, UPS, Federal Express, SNCF, Kuehne + Nagel International AG, DB Schenker, Nippon Express Co, C.H. Robinson, Panalpina. The study showed that the logic of building their websites corresponds to that described by specific criteria for assessing

quality. A special feature is that transportation they carry out is, as a rule, of international nature, so the potential client is invited to choose a delivery mode among air, road, sea, railway modes of transportation. Besides, when costing the service, it is necessary to additionally assess the presence on a company's website of a drop-down list of additional charges for delivery to remote regions, as well as fuel surcharges, the rate of which depends on the price of aviation fuel.

REFERENCES

1. Yusupova, O. A. Assessment of Quality of Service Provided to Private Consignors. *World of Transport and Transportation*, 2020, Vol. 18, Iss. 2, pp. 214–225. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1894/2312>. Last accessed 30.06.2020. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-214-224>.
2. Annual report 2018 of JSC RZD Logistics [*Godovoi otchet 2018 OAO «RZD»-Logistika*]. [Electronic resource]: <https://www.rzdlog.ru/upload/iblock/23e/23e15f4bc9e30e74a88a11d443d13624.pdf>. Last accessed 30.06.2020.
3. GOST [State standard] 15467-79. Product quality management. Basic concepts. Terms and definitions (with Amendment No. 1). Date of introduction 1979-07-01 [*GOST 15467-79. Upravlenie kachestvom produktsii. Osnovnye ponyatiya. Terminy i opredeleniya (s Izmeneniem NI). Data vvedeniya 1979-07-01*]. [Electronic resource]: <http://docs.cntd.ru/document/1200001719>. Last accessed 30.06.2020.
4. Single policy of customer focus of the Russian Railways holding company in the field of freight transportation [*Edinaya politika klientoorientirovannosti kholdinga RZD v oblasti gruzovykh perevozok*]. [Electronic resource]: <http://docs.cntd.ru/document/456025278>. Last accessed 30.06.2020.
5. GOST R [Russian State standard] ISO/IEC25010-2015. Information technology (IT). System and software engineering. Requirements and quality assessment of systems and software (SQuaRE). Models of quality of systems and software products. Date of introduction 2016-06-01 [*GOST R ISO/IEC25010-2015. Informatsionnie tekhnologii (IT). Sistemnaya i programmnaya inzheneriya. Trebovaniya i otsenka kachestva sistem i programmnoy obespecheniya (SQuaRE). Modeli kachestva sistem i programmykh produktov. Data vvedeniya 2016-06-01*]. [Electronic resource]: <http://docs.cntd.ru/document/1200121069>. Last accessed 30.06.2020.
6. Research in the field of customer assessment of quality of services in the rail freight market / Report on the quarterly study on the Quality Index [*Issledovanie v sfere otsenki potrebitelnyami kachestva uslug na rynke gruzoperevozok zheleznodorozhnym transportom / Otchet ezhekvartalnykh issledovaniy Indeks kachestva*]. Moscow, RZD-Partner, 2012–2018. [Electronic resource]: <https://www.rzd-partner.ru/specials/index-kachestva-uslug-na-zh-d-transporte/>. Last accessed 30.06.2020.
7. Overview of the freight transportation industry in Russia 2019 [*Obzor otrasli gruzoperevozok v Rossii 2019 god*]. [Electronic resource]: [https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-transportation-services-2019-rus/\\$FILE/ey-transportation-services-2019-rus.pdf](https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-transportation-services-2019-rus/$FILE/ey-transportation-services-2019-rus.pdf). Last accessed 30.06.2020. ●





Методический подход к организации перевозок на электробусных маршрутах



Максим КУДРЯШОВ



Александр ПРОКОПЕНКОВ



Радион АЙРИЕВ

Кудряшов Максим Александрович – ГУП «Мосгортранс», Москва, Россия.

Прокопенков Александр Владимирович – Ассоциация «ТАМА», Москва, Россия.

Айриев Радион Саркисович – ГУП «Мосгортранс», Москва, Россия.*

При разработке проектов внедрения в эксплуатацию автобусов на электрической тяге и определения потребной инфраструктуры необходимо обосновать концепцию, методические подходы к выбору маршрутов, рассчитать количество зарядных станций в зависимости от их типа и провести экономическую оценку предлагаемых решений в конкретных условиях эксплуатации.

В статье рассматриваются основные вопросы организации работы автобусов на электрической тяге (электробусов) на маршрутах наземного городского пассажирского транспорта общего пользования. Проведён первичный анализ как текущих, так и пер-

спективных электробусных маршрутов в Москве.

На основе классических методов определения потребного количества подвижного состава на маршруте по заданной производительности, по пассажиропотоку и по заданному интервалу движения предложены адаптивные методы расчёта.

Рассмотрены текущая и перспективные схемы размещения зарядных станций, предложена методика определения их потребного количества.

Адаптирован методический подход к определению прямых расходов, непосредственно связанных с перевозками при эксплуатации электробусов на маршруте.

Ключевые слова: наземный городской пассажирский транспорт, эксплуатация электробусов, зарядные станции.

*Информация об авторах:

Кудряшов Максим Александрович – начальник сектора службы кадров ГУП «Мосгортранс», Москва, Россия, sparky5@yandex.ru.

Прокопенков Александр Владимирович – проектный менеджер Ассоциации «ТАМА», Москва, Россия, prokopenkovaleksandr@gmail.com.

Айриев Радион Саркисович – советник заместителя генерального директора ГУП «Мосгортранс», Москва, Россия, ayrievrs@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 23.04.2020, принята к публикации 02.08.2020.

For the English text of the article please see p. 162.

ВВЕДЕНИЕ

Поэтапный переход от эксплуатации дизельных автобусов к использованию автобусов на электрической тяге (электробусов) на маршрутах наземного городского пассажирского транспорта общего пользования в настоящее время является общемировым трендом. Во многих странах Европы, Северной Америки, в Китае, Японии, Корее и других государствах ведутся научно-экспериментальные исследования внедрения в эксплуатацию различных вариантов электробусов [1]. В России инициатором внедрения в эксплуатацию автобусов на электрической тяге на транспорте общего пользования стала Москва.

При разработке проектов и определении необходимой инфраструктуры необходимо обосновать концепцию, методические подходы к выбору маршрутов, организации перевозок, рассчитать потребности в зарядных станциях в зависимости от их типа и провести экономическую оценку предлагаемых решений в конкретных условиях эксплуатации. Отдельным вопросам эффективной организации работы транспорта общего пользования посвящены работы [2–5].

Автобусы на электрической тяге являются относительно новым типом подвижного состава, что предопределяет необходимость взвешенного и объективного обоснования выбора тех или иных альтернативных вариантов технических, технологических, организационных, экономических и других решений.

Проведённый ранее авторами анализ регулирования и организации перевозок пассажиров наземным электрическим городским транспортом позволил выявить, что в настоящее время применяются различные системы классификации транспортных средств, однако термин «электробус» не утверждён [6]. К городским электрическим транспортным средствам юридически пока относятся трамваи и троллейбусы.

Исходя из требований к допуску водителей к управлению электробусами, они относятся к транспортным средствам категории «Д», то есть к автобусам. Согласно концепциям скорости зарядки батареи электробусов, их можно разделить на несколько классов и групп [6].

В настоящее время у исследователей и практиков нет однозначного ответа относительно экономической целесообразности перехода от дизельных автобусов на электрические. В некоторых странах и городах по-прежнему есть приверженцы перевода городского транспорта на газообразное топливо, водород, гибридные установки и другие альтернативные виды топлива. В конкретных условиях эксплуатации и инфраструктуры каждый вариант может быть экономически оправдан. Большое значение при обосновании перехода на электробусы имеет тип (класс) автобуса, пассажироместимость и т.д. В настоящее время, как в мире, так и в России, при разработке проектов внедрения электробусов в эксплуатацию, как правило, рассматриваются транспортные средства длиной 12 метров — автобусы большого класса. Понятно, что у автобусов классом ниже или выше будет совершенно другая экономика.

Вопрос выбора концепции и экономической оценки в настоящее время является дискуссионной темой на международном уровне, и нет однозначного принятого подхода [7–10].

Инновационное развитие в любой сфере экономики является аренной поиска альтернативных вариантов и концепций. Транспорт общего пользования не является исключением. Тенденции укрупнения агломераций во всем мире [4; 5], ухудшение экологической обстановки в них [6], проблемы с увеличением количества транспортных средств на улично-дорожной сети [1–4] заставляют городские власти принимать решения, направленные на развитие транспорта на альтернативных видах топлива.

РАЗВИТИЕ МАРШРУТНОЙ СЕТИ ЭЛЕКТРОБУСОВ

В соответствии с официальным реестром от 27.12.2019 г. в городе Москве зарегистрировано 1049 муниципальных маршрутов регулярных перевозок, в т.ч. 771 обслуживаемых ГУП «Мосгортранс»¹.

¹ Официальный сайт Мэра Москвы. Реестр муниципальных маршрутов регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным и наземным электрическим транспортом в городе Москве от 27.12.2019 г. [Электронный ресурс]: <https://www.mos.ru/dt/documents/view/223682220/>. Доступ 23.03.2020.





Рис. 1. Структура парка подвижного состава ГУП «Мосгортранс» (сведения предоставлены ГУП «Мосгортранс»).

В настоящее время ГУП «Мосгортранс» является также главным эксплуатационным предприятием автобусов на электрической тяге и единственным в г. Москве.

Выполненный анализ структуры парка подвижного состава ГУП «Мосгортранс» по состоянию на 01.01.2020 г. показал, что общее количество транспортных средств составляет 8926 ед. (рис. 1), в т.ч. автобусов на электрической тяге — 300 ед.

Согласно сведениям единой информационной системы в сфере закупок в 2018 году заключено два контракта на поставку 200 автобусов на электрической тяге в филиал «Северо-Восточный» с оказанием услуг по их последующему сервисному обслуживанию и ремонту в течение 15 лет. По результатам проведения конкурса поставлено 100 ед. электробусов модели КамАЗ-6282² и 100 ед. ЛиАЗ-6274³.

Согласно принятым решениям, в 2018 г.⁴ было приобретено 100 ед. электробусов модели КамАЗ-6282 с поставкой в Филёвский автобусно-троллейбусный парк филиала «Центральный» ГУП «Мосгортранс».

В 2020 году предусмотрена поставка 200 автобусов на электрической тяге модели

КамАЗ-6282 на территорию эксплуатационной площадки Первого троллейбусного парка и 100 автобусов на электрической тяге ЛиАЗ-6274 на территорию эксплуатационной площадки Филёвского автобусно-троллейбусного парка филиала «Центральный» ГУП «Мосгортранс»^{5, 6}.

По состоянию на I квартал 2020 г. автобусы на электрической тяге обслуживают 23 регулярных маршрута. Общие эксплуатационные характеристики маршрутов представлены в табл. 1. Трассы следования маршрутов показаны на рис. 2.

В соответствии с планами развития на 2020 г. планируется перевод 10 троллейбусных и 14 автобусных маршрутов на обслуживание автобусами на электрической тяге. Перспективная маршрутная сеть ГУП «Мосгортранс» для автобусов на электрической тяге представлена на рис. 3.

При разработке проекта создания инфраструктуры эксплуатации высокоэкологичных электрических транспортных средств, при внедрении в эксплуатацию автобусов на электрической тяге с динамической зарядкой предлагается учитывать не только перспективы развития маршрутной сети автобусов на электрической тяге ГУП «Мосгортранс», но и действующую транспортную инфраструктуру троллейбусов.

² Официальный сайт ЕИС. Электронный аукцион № 0173200001417001533. [Электронный ресурс]: <https://zakupki.gov.ru/epz/order/notice/ea44/view/supplier-results.html?regNumber=0173200001417001533>. Доступ 23.03.2020.

³ Официальный сайт ЕИС. Электронный аукцион № 0173200001417001534. [Электронный ресурс]: <https://zakupki.gov.ru/epz/order/notice/ea44/view/supplier-results.html?regNumber=0173200001417001534>. Доступ 23.03.2020.

⁴ Официальный сайт ЕИС. Электронный аукцион № 0173200001417001532. [Электронный ресурс]: <https://zakupki.gov.ru/epz/order/notice/ea44/view/supplier-results.html?regNumber=0173200001417001532>. Доступ 23.03.2020.

⁵ Официальный сайт ЕИС. Электронный аукцион № 0173200001419001670. [Электронный ресурс]: <https://zakupki.gov.ru/epz/order/notice/ea44/view/common-info.html?regNumber=0173200001419001670>. Доступ 23.03.2020.

⁶ Официальный сайт ЕИС. Электронный аукцион № 0173200001419001671. [Электронный ресурс]: <https://zakupki.gov.ru/epz/order/notice/ea44/view/supplier-results.html?regNumber=0173200001419001671>. Доступ 23.03.2020.

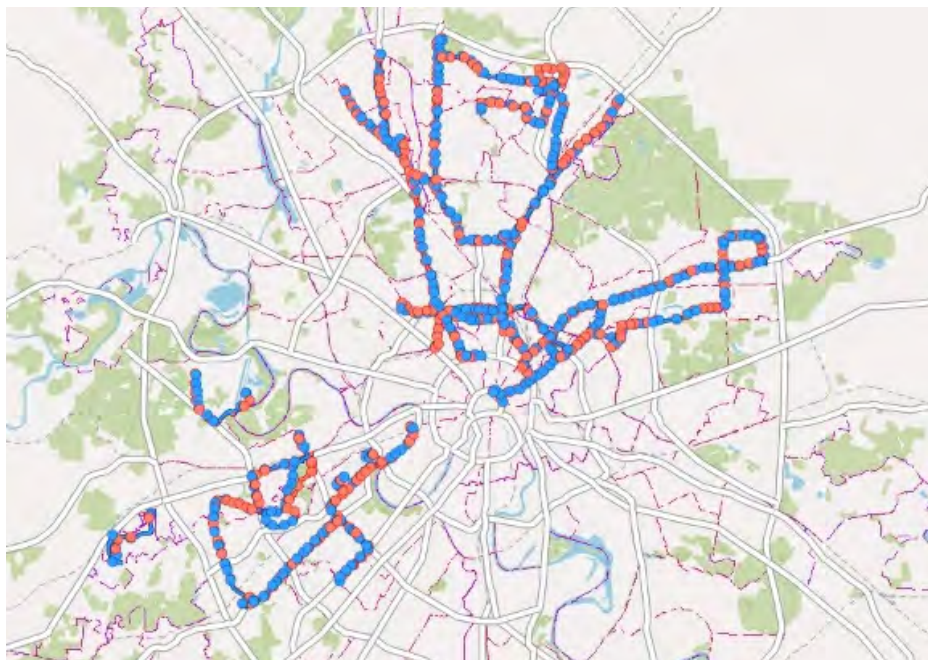


Рис. 2. Трассы следования маршрутов автобусов на электрической тяге
(карта составлена на основе данных официального сайта ГУП «Мосгортранс»
с использованием программного комплекс ГИС «Мосгортранс»).

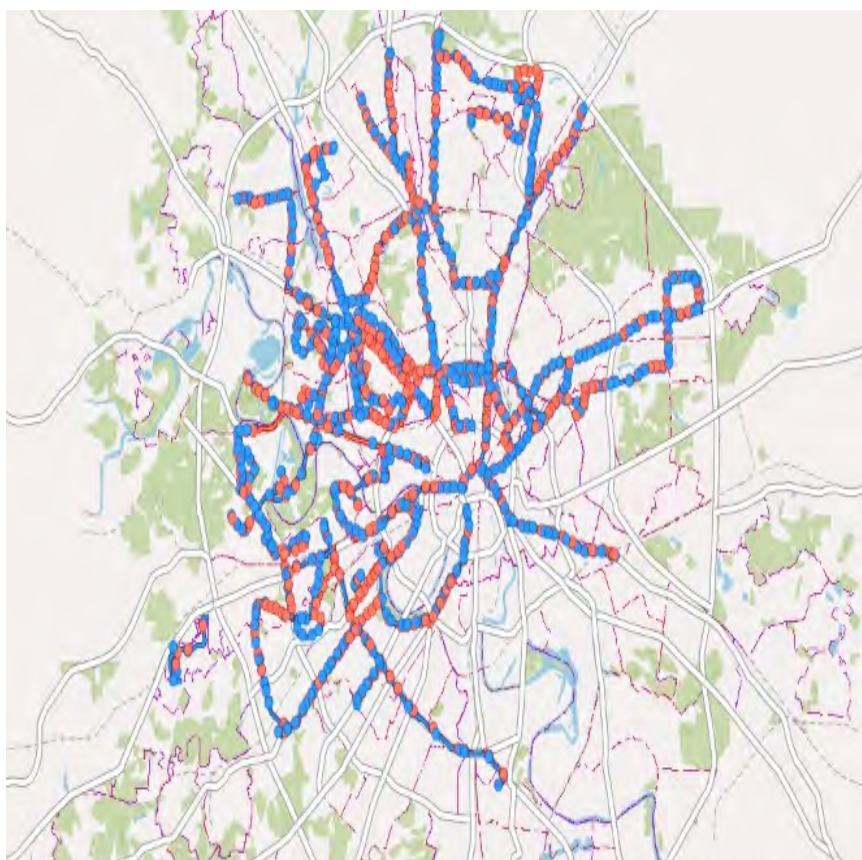


Рис. 3. Перспективная электробусная маршрутная сеть
(Источник: программный комплекс ГИС «Мосгортранс»).



Эксплуатационные показатели маршрутов

№ маршрута	Конечные пункты	Парк	Выпуск общий/ОБК/БК/СК/МК (ед)	Время оборотного рейса (мин)	Длина маршрута (км)	Эксплуатационная скорость (км/ч)	Минимальный интервал (мин)	Максимальная частота (ед./час)	Перевозка пик/межпик/сутки (пассе)
93	ВДНХ (южн.)—Метро «Медведково»	ЭЛ	6/-/-/6/-	86,4	10,9	15,1	17,6	3,4	803/991/2218
107	Метро «Филевский парк»—Платф. Матвеевская	ЭЛЦ	6/-/6/-/-	53,8	6,6	14,7	11,3	5,3	713/729/1691
205K	Киевский вокзал—Ул. Довженко	ЭЛЦ	6/-/6/-/-	41,5	6	17,4	9	6,7	933/725/1950
622	Метро «Озёрная»—Метро «Славянский бульвар»	Ц	9/-/9/-/-	87,3	14	19,2	10,7	5,6	1621/1573/3969
649	Ясный пр.—Осташковская ул.	ЭЛ	5/-/5/-/-	59,7	6,4	12,9	16,7	3,6	403/380/879
778	Рижский вокзал—Спартакоская пл.	ЭЛ	4/-/4/-/-	42,3	5,4	15,3	13	4,6	432/485/1153
791	Киевский вокзал—4-й Сетуньский пр.	ЭЛЦ	7/-/7/-/-	32,9	4,6	16,8	5,9	10,1	1521/1101/3479
810	Рижский вокзал—Тихвинская ул.	ЭЛ	3/-/-/3/-	43,9	3,6	9,8	25	2,4	-/-/-
832	Крылатское—Спортцентр «Крылатское»	ЭЛЦ	5/-/5/-/-	43,4	5,4	14,9	9	6,7	658/639/1554
Sk1	ТМК/Сибур—Хаб	ЭЛЦ	3/-/3/-/-	36	5,9	19,7	23,1	2,6	-/-/-
Н3	Уссурийская ул.—Метро «Китай-город»	ЭЛ	6/-/6/-/-	138	20,4	17,7	37,5	1,6	-/-/332
T14	Северянинский путепровод—Электровзводский мост	ЭЛ	16/-/16/-/-	143,7	15,2	12,7	12	5	-/-/-
T17	Метро «Озерная»—Киевский вокзал	ЭЛЦ	20/-/20/-/-	103,4	12,6	14,6	5,8	10,3	6846/6473/16629
T25	Просп. Будённого—Метро «Лубянка»	ЭЛ	11/-/11/-/-	82,4	7,6	11,1	9	6,7	-/-/-
T34K	Ул. Кравченко—Киевский вокзал	ЭЛЦ	17/-/17/-/-	96,2	10,9	13,6	6,3	9,5	5937/4947/12032
T36	ВДНХ (южн.)—Дмитровское ш., 155	ЭЛ	15/-/15/-/-	112,9	13,1	13,9	9,2	6,5	-/-/-
T42	Рижский вокзал—Метро «Петровский парк»	ЭЛЦ	14/-/14/-/-	56,8	5,8	12,2	6	10	-/-/-
T47	Бескудниковский пер.—Самотёчная пл.	ЭЛ	20/-/20/-/-	95,7	12	15,1	6	10	6737/5275/15090
T56	Базовская ул.—Тверская Застава	ЭЛ	20/-/20/-/-	109,6	13,8	15,1	4,7	12,8	1736/2469/6279
T73	6-й мкр. Бибирева—ВДНХ (южн.)	ЭЛ	34/-/34/-/-	105,4	12,4	14,1	3,7	16,2	-/-/-
T76	Холмогорская ул.—Метро «ВДНХ»	ЭЛ	28/-/28/-/-	69,3	8,8	15,2	2,9	20,8	-/-/-
T80	6-й мкр. Бибирева—Осташковская ул.	ЭЛ	10/-/10/-/-	68,3	7,1	12,5	8,8	6,8	-/-/-
T83	Уссурийская ул.—Метро «Преображенская пл.»	ЭЛ	17/-/17/-/-	78,3	8,9	13,6	5,8	10,3	-/-/-

Источник: программный комплекс ГИС «Мосгортранс».

В первую очередь предлагается организовать автобусные маршруты, трасса следования которых полностью проходит по троллейбусным. Выполненный анализ маршрутной сети позволил выделить 12 таких маршрутов (табл. 2).

Вместе с тем предлагается исключить экспрессные маршруты и маршруты, обслуживаемые автобусами особо большого класса (903, 907, T144K, T63, T71), поскольку эксплуатация электробусов на указанных маршрутах может оказать суще-

Таблица 2

Эксплуатационные характеристики автобусных маршрутов

№ маршрута	Конечные пункты	Выпуск общий/ОБК/БК/ СК/МК (ед.)	Время оборотного рейса (мин)	Длина маршрута (км)	Эксплуатационная скорость (км/ч)	Минимальный интервал (мин)	Максимальная частота (ед./ час)	Перевозка пик/межпик/ сутки (пасс)
903	Холмогорская ул.— Метро «Просп. Мира»	27/15/12/-/-	80,3	13,4	20	2,8	21,4	9657/10121/26521
907	Каширское ш., 148— Метро «Добрынинская»	15/15/-/-/-	97,7	17,8	21,9	9,2	6,5	6338/7429/17725
T18	Рижский вокзал— Стрельбищенский пер.	14/-/14/-/-	108,8	10,7	11,8	6,6	9,1	5217/5095/12910
T26	Карачаровский путепровод— Автозаводский мост	12/-/12/-/-	105,8	13,8	15,6	10,7	5,6	8113/6711/18298
T32	Уссурийская ул.— Гаражная ул.	17/-/17/-/-	141,8	17,1	14,5	13	4,6	2472/2811/8281
T51	Пл. Соловецких Юнг—Метро «Измайловская»	11/-/11/-/-	49,2	4,8	11,7	4,8	12,4	5640/4855/14926
T63	138-й кв. Выхина— Метро «Таганская»	15/15/-/-/-	105,2	14,1	16,1	8,2	7,3	8500/9801/24023
T67	Каширское ш., 148— Автозаводский мост	6/-/6/-/-	112,5	18,2	19,4	23,1	2,6	1650/1971/4803
T71	Каширское ш., 148— Метро «Добрынинская»	15/15/-/-/-	123,4	17,8	17,3	9,7	6,2	7501/6863/18749
T86	Серебряный бор— Метро «Сокол»	12/-/12/-/-	93,4	11,7	15	8,6	7	5274/3713/11646
T88	Просп. Будённого— Комсомольская пл.	6/-/6/-/-	51,3	5,4	12,6	10,9	5,5	1942/1668/4929
T144K	Ул. Кравченко— Метро «Октябрьская»	10/-/10/-/-	51,3	8,8	20,6	6,9	8,7	3607/4708/9961

ственное влияние на качество транспортного обслуживания населения.

РАСЧЁТ ПОТРЕБНОГО КОЛИЧЕСТВА ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ

Согласно проведённому анализу кон- курсной документации, одновременно с поставкой автобусов на электрической тяге предусмотрена поставка и установка 98 зарядных станций. Схема размеще- ния зарядных станций представлена на рис. 4.

Общая перспективная схема размеще- ния ультрабыстрых зарядных станций представлена на рис. 5.

Для расчёта потребного количества за- рядных станций первичным является

определение количества подвижного со- става на маршруте. При расчёте количества подвижного состава A_p необходимыми исходными данными являются:

- 1) данные о пассажиропотоке: в разрезе по часам суток, дням недели и остановоч- ным пунктам (вход/выход);
- 2) пассажировместимость автобуса на электрической тяге;
- 3) эксплуатационные данные маршрута (время оборотного рейса, длина маршрута, эксплуатационная скорость и пр.).

При этом пассажировместимость опре- деляется с учётом количества мест для си- дения и мест для проезда стоя (не более восьми человек на квадратный метр неза- нятой площади местами для сидения).



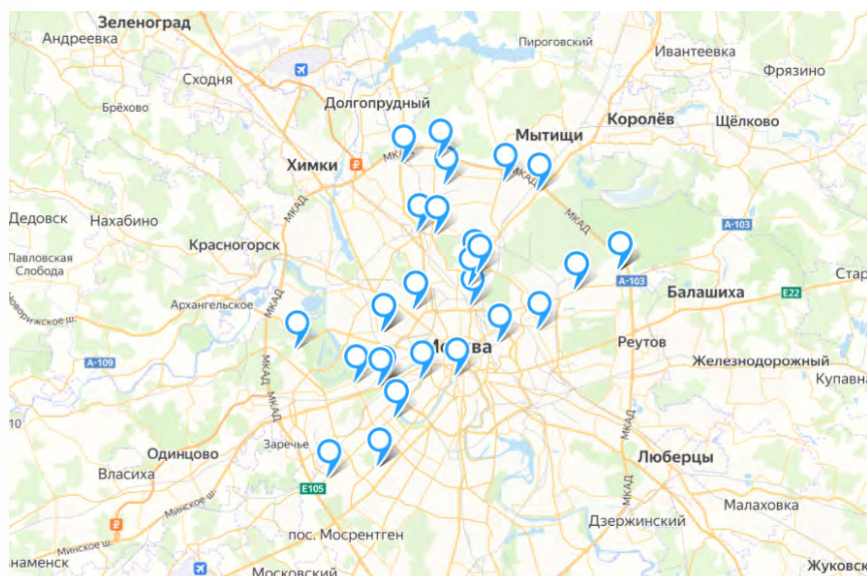


Рис. 4. Схема размещения зарядных станций.

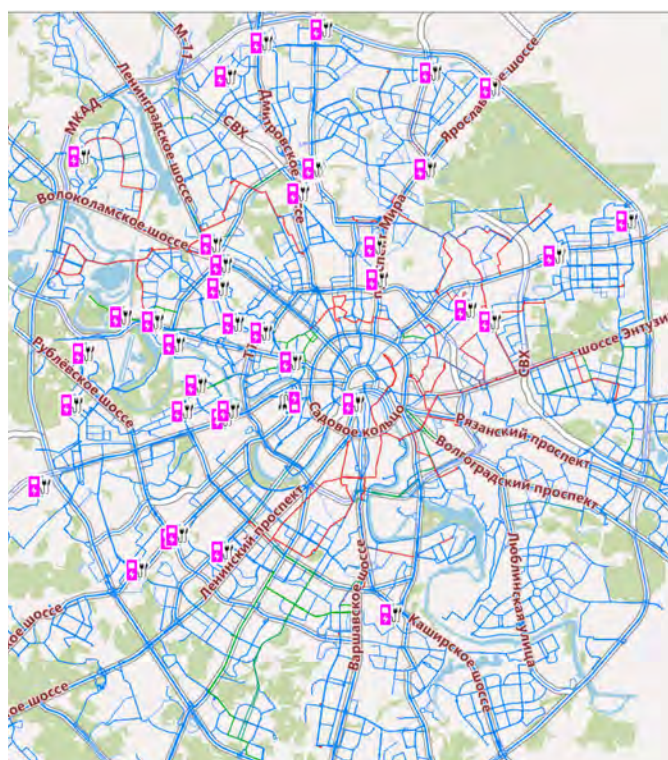


Рис. 5. Перспективная схема размещения зарядных станций.
Источник: программный комплекс ГИС «Мосгортранс» и конкурсная документация.

Расчёт A_j необходимо выполнять отдельно для весенне-летнего периода и осенне-зимнего, будних и выходных дней, часов пик и межпиковых периодов.

Анализ различных подходов к расчёту A_j позволил их сгруппировать по трём показателям:

- 1) по заданной производительности автобуса на электрической тяге;
- 2) по пассажиропотоку;
- 3) по заданному интервалу движения.

Отличительной особенностью расчёта времени оборотного рейса $t_{об}$ при определении A_j вне зависимости от выбора целе-

вого показателя является необходимость учёта времени зарядки батареи, соответственно:

$$t_{об} = \sum t_{дв} + \sum t_{оп} + \sum t_{ко} + \sum t_3,$$

где $t_{об}$ — время движения на маршруте;

$t_{оп}$ — время простоя на промежуточных остановочных пунктах для посадки/высадки пассажиров;

$t_{ко}$ — время технологического простоя на конечных остановочных пунктах;

t_3 — время заряда аккумуляторных батарей, определяемое как произведение потребного количества циклов зарядки на время затрачиваемое на один цикл зарядки.

Необходимо отметить, что $\sum t_3 > 0$ при эксплуатации автобусов на электрической тяге с концепцией медленной и ультрабыстрой зарядок. У автобусов на электрической тяге с динамической зарядкой $\sum t_3 = 0$, поскольку питание батареи возможно осуществлять при движении от контактной сети троллейбусов.

В дальнейшем расчёт потребного количества автобусов на электрической тяге предлагается осуществлять в зависимости от выбранного показателя.

По заданной производительности автобуса на электрической тяге расчёт A_3 выполняется по формуле:

$$A_3 = \frac{Q \cdot (l_p + V_m \cdot \beta \cdot (\sum t_{он} + \sum t_3))}{T_m \cdot q \cdot \gamma_{ам} \cdot \kappa_{см} \cdot V_m \cdot \beta},$$

где Q — производительность автобуса на электрической тяге;

l_p — длина рейса;

V_T — техническая скорость;

β — коэффициент использования пробега;

T_M — время работы маршрута;

q — пассажироместность;

$\gamma_{ам}$ — коэффициент использования пассажироместности;

$\kappa_{см}$ — коэффициент сменности пассажиров на маршруте.

По данным о пассажиропотоке расчёт потребного количества автобусов на электрической тяге A_3 выполняется по формуле:

$$A_3 = \frac{Q_{max} \cdot t_{об}}{q \cdot \gamma_{ам}},$$

где Q_{max} — максимальная пассажиронапряжённость на участке маршрута.

По заданному интервалу движения расчёт A_3 выполняется по формуле:

$$A_3 = 60 t_{об} / I_3,$$

где I_3 — заданный интервал движения автобусов на электрической тяге.

Расчёт количества зарядных станций напрямую зависит от выбранной концепции зарядки автобусов на электрической тяге.

Так система энергоснабжения автобуса на электрической тяге с динамической подзарядкой может стать основой единой зарядной инфраструктуры всего электро-транспорта города, благодаря соединению объектов контактной сетью⁷. Использование контактных сетей позволит отказаться от большого объёма земляных работ, что сократит сроки реализации проектов.

Благодаря динамической подзарядке при движении от контактной сети, автобусы на электрической тяге любого класса могут устойчиво работать 24 часа на маршруте, без потери времени на заряд батарей.

Станции зарядки частных электромобилей, такси и каршеринга с питанием от контактной сети могут быть интегрированы в опору контактной сети.

Тяговая подстанция с установкой блоков ёмкостей для эффективного использования рекуперации и солнечных фотоэлементов повысит энергоэффективность.

В ночное время предприятия, которые располагаются вдоль трассировки контактных сетей, используют мощности для станций медленной зарядки коммунальных и коммерческих электромобилей.

Расчёт количества зарядных станций у автобусов на электрической тяге с медленной и ультрабыстрой зарядкой требует дополнительных вычислений. В настоящее время нет единого подхода к расчёту потребного количества зарядных станций. Расчёт при выборе такой концепции предлагается осуществлять на основе данных технического задания на закупку электробусов и в четыре этапа:

⁷ Распоряжение Министерства транспорта Российской Федерации от 18 апреля 2013 г. № НА-37-р «О введении в действие Методических рекомендаций по расчёту экономически обоснованной стоимости перевозки пассажиров и багажа в городском и пригородном сообщении автомобильным и городским наземным электрическим транспортом общего пользования». [Электронный ресурс]: <https://www.mintrans.ru/press-center/news/5761>. Доступ 23.03.2020.



1. Расчёт удельного расхода электроэнергии на маршруте:

$$W_{уд} = ((1,68 \cdot V_э)/16) + 1, \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где $V_э$ — эксплуатационная скорость;

1,68 — расход электроэнергии на тягу в кВт·ч при скорости 16 км/ч (средняя скорость движения согласно ТЗ на закупку электробусов), а также дополнительно 1 кВт·ч на работу установки климат-контроля.

2. Расчёт полного расхода электроэнергии на маршруте:

$$W_m = W_{уд} \cdot L_m, \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где $W_{уд}$ — удельный расход электроэнергии на маршруте;

L_m — длина маршрута.

3. Расчёт времени, необходимого на зарядку тяговых батарей:

$$t_3 = (W_m \cdot 24)/70, \text{ мин},$$

где W_m — расход электроэнергии на маршруте;

70 — используемая ёмкость аккумулятора кВт·ч.

4. Расчёт потребного количества зарядных станций:

$$N_3 = t_3/I, \text{ ед.},$$

где I — плановый интервал прибытия автобусов на электрической тяге к зарядной станции.

Расчёт планового интервала прибытия необходимо осуществлять с учётом наложения трасс следования маршрутов, обслуживаемых автобусами на электрической тяге.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРЕДЛАГАЕМЫХ РЕШЕНИЙ

Экономическая оценка внедрения и эксплуатации автобусов на электрической тяге на городских маршрутах является относительно новым, но очень актуальным предметом исследования как в иностранных, так и в отечественных научно-практических кругах.

В настоящее время отечественными и зарубежными исследователями уже разработаны общие методические подходы к экономической оценке эксплуатации автобусов на электрической тяге на городских маршрутах. Вместе с тем, предложенные методики и результаты их апробации не позволяют сделать однозначных выводов о целесообразности перехода на эксплуатацию автобусов на электрической тяге.

Одновременно следует отметить отсутствие нормативных правовых актов по расчётам экономического обоснования себестоимости эксплуатации автобусов на электрической тяге, аналогично троллейбусам, трамваям, дизельным автобусам и т.д.

Вопрос выбора концепции экономической оценки в настоящее время является дискуссионной темой, и на международном уровне нет однозначно принятых подходов.

Настоящий подход основан на методических рекомендациях Министерства транспорта Российской Федерации, утверждённых распоряжением от 18 апреля 2013 г. № НА-37-р [14], и рекомендуется к использованию при определении прямых расходов, связанных непосредственно с перевозками.

Целью данного методического подхода является определение стоимости 1 километра пробега автобуса на электрической тяге.

Исходными данными при расчёте являются:

- 1) эксплуатационные параметры маршрутов;
- 2) расписание движения;
- 3) объём перевозок (фактический или плановый).

Расчёт предлагается определять для каждой i марки и модели автобуса на электрической тяге по формуле:

$$\sum_{i=1}^n S_{азкм} = P_{фоткм} + P_{ткм} + P_{эдвжкм} + P_{смкм} + P_{шкм} + AM_{икм} + P_{кккм} + P_{тпкм} + P_{зскм},$$

руб./1 км пробега,

где $P_{фоткм}$ — фонд оплаты труда водителей;

$P_{ткм}$ — расходы на топливо при оснащении электробусов автономными дизельными отопителями, л/ч;

$P_{эдвжкм}$ — расходы электроэнергии на движение (зарядку);

$P_{смкм}$ — расходы на эксплуатационно-смазочные материалы;

$P_{шкм}$ — расходы на эксплуатацию шин;

$AM_{икм}$ — амортизация;

$P_{кккм}$ — расходы на кабельную сеть;

$P_{тпкм}$ — расходы на тяговые подстанции;

$P_{зскм}$ — расходы на зарядные станции.

При эксплуатации автобуса на электрической тяге в расходы не включаются зат-

раты на техническое обслуживание и ремонт, поскольку они включены в стоимость транспортного средства согласно условиям контракта жизненного цикла.

Расчёт себестоимости 1 место-километра, 1 пассажиро-километра и перевозки одного пассажира предлагается выполнять по формулам, соответственно:

$$S_{\text{пасс.место.км } i} = S_{ik}/q_i, \text{ руб.},$$

$$S_{\text{пасс.км } i} = S_{\text{пасс.место.км } i} / \gamma, \text{ руб.},$$

$$S_{\text{пасс. } i} = S_{\text{пасс.км } i} \cdot l_{\text{ср}}, \text{ руб.},$$

где q_i — пассажировместимость i марки и модели электробуса;

γ — среднее значение коэффициента использования пассажировместимости;

$l_{\text{ср}}$ — средняя дальность поездки одного пассажира, км.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье выполнен анализ текущего уровня и освещены ближайшие перспективы развития эксплуатации автобусов на электрической тяге на муниципальных маршрутах города Москвы.

Рассмотрены общие вопросы организации работы автобусов на электрической тяге на маршрутах наземного городского пассажирского транспорта общего пользования. Предложенные методы расчёта потребного количества подвижного состава на маршруте основаны на классических подходах с учётом особенностей эксплуатации электробусов. Также предлагается методика расчёта потребного количества зарядных станций на маршруте с учётом данных технических заданий на закупку электробусов.

Предлагается методический подход к экономической оценке внедрения в эксплуатацию электробусов, основанный на определении прямых расходов, связанных непосредственно с перевозками.

Данный методический подход может быть использован как основа при разработке проектов внедрения в эксплуатацию автобусов на электрической тяге.

Направлением дальнейших исследований является разработка частотной методики оценки качества транспортного об-

служивания населения на электробусных маршрутах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айриев Р. С., Кудряшов М. А. Перспективы экологической транспортной системы в мегаполисе // Мир транспорта. — 2018. — № 2. — С. 220–232. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1449/1725>. Доступ 02.08.2020.

2. Блудян Н. О. К концепции развития транспортного обслуживания населения в Московском регионе // Автотранспортное предприятие. — 2009. — № 2. — С. 11–13. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12049698>. Доступ 02.08.2020.

3. Блудян Н. О. Альтернативный подход к концепции модернизации транспортной системы московского мегаполиса // Автотранспортное предприятие. — 2013. — № 7. — С. 2–6. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19421478>. Доступ 02.08.2020.

4. Блудян Н. О., Айриев Р. С., Кудряшов М. А. Методические основы управления мультимодальными пассажирскими перевозками // В мире научных открытий. — 2015. — № 10 (3). — С. 1249–1259. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24858928>. Доступ 02.08.2020.

5. Блудян Н. О., Айриев Р. С. Агломерационные подходы к решению транспортных проблем // Автотранспортное предприятие. — 2014. — № 8. — С. 2–7. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21832594>. Доступ 02.08.2020.

6. Кудряшов М. А., Прокопенков А. В., Айриев Р. С. К вопросу нормативного обеспечения эксплуатации пассажирских электрических транспортных средств // Мир транспорта. — 2020. — № 1. — С. 196–211. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1836/2268>. Доступ 02.08.2020.

7. Rogge, M., van der Hurk, E., Larsen, A., Sauer, D. U. Electric bus fleet size and mix problem with optimization of charging infrastructure. *Applied Energy*, 2018, Vol. 211, pp. 282–295. [Электронный ресурс]: <https://www.sciencedirect.com/journal/applied-energy/vol/211/suppl/C>. Доступ 02.08.2020.

8. Göhlich, D., Tu-Anh Fay, Jefferies, D., Lauth, E., Kunith, A., Xudong Zhang. Design of urban electric bus systems. *Design Science*, 2018, Vol. 4. [Электронный ресурс]: <https://www.cambridge.org/core/journals/design-science/article/design-of-urban-electric-bus-systems/1C0E4AA05F6E1FBF8A545E13F6A8D2DE>. Доступ 02.08.2020.

9. Aber, J. Electric Bus Analysis for New York City Transit. Columbia University, New York, 2016. [Электронный ресурс]: <http://www.columbia.edu/~ja3041/Electric%20Bus%20Analysis%20for%20NYC%20Transit%20by%20J%20Aber%20Columbia%20University%20-%20May%202016.pdf>. Доступ 02.08.2020.

10. Kunith, A., Mendelevitch, R., Goehlich, D. Electrification of a city bus network. An optimization model for cost-effective placing of charging infrastructure and battery sizing of fast-charging electric bus systems. *International Journal of Sustainable Transportation*, 2017, Vol. 11, No. 10, pp. 707–720. DOI: <https://doi.org/10.1080/15568318.2017.1310962>. Доступ 02.08.2020.

Работа выполнена при поддержке Комитета общественных связей и молодежной политики города Москвы, заявка – 2019-0417.





Methodical Approach to Organisation of Transportation on Electric Bus Routes



Maxim A. KUDRYASHOV



Alexander V. PROKOPENKOV



Radion S. AYRIEV

*Kudryashov, Maxim A., SUE Mosgortrans, Moscow, Russia.
Prokopenkov, Alexander V., TAMA Association, Moscow, Russia.
Ayriev, Radion S., SUE Mosgortrans, Moscow, Russia*.*

ABSTRACT

When developing projects for introduction of electric buses into operation and determining the required infrastructure, it is necessary to justify the concept and methodological approaches to choosing of routes, to estimate the number of charging stations, depending on their type, and to conduct economic assessment of the proposed solutions in specific operating conditions.

The article discusses the main issues of organising operation of buses with electric traction (electric buses) on the routes of public urban surface transport. A primary analysis of both current and prospective electric bus

routes was carried out regarding the city of Moscow.

Adaptive calculation methods are proposed based on classical methods for determining the required number of vehicles for a route regarding a given transit capacity, passenger traffic flow, and a given traffic interval.

The current and prospective schemes for location of charging stations are considered, a method for determining their required number is proposed.

A methodological approach of determining direct costs associated with transportation has been adapted to operation of electric buses on the route.

Keywords: urban surface passenger transport, operation of electric buses, charging stations.

*Information about the authors:

Kudryashov, Maxim A. – Head of a unit of Human Resources Service of Mosgortrans SUE [State Unitary Enterprise], Moscow, Russia, sparky5@yandex.ru.

Prokopenkov, Alexander V. – Project Manager of TAMA Association, Moscow, Russia, prokopenkovaleksandr@gmail.com.

Ayriev, Radion S. – Ph.D. (Eng), Advisor to the Deputy General Director of Mosgortrans SUE [State Unitary Enterprise], Moscow, Russia, ayrievrs@mail.ru.

Article received 23.04.2020, accepted 02.08.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 152.

Background.

The phased transition from operation of diesel buses to the use of buses with electric traction (electric buses) on the routes of the public urban surface passenger transport currently constitutes a global trend. Scientific and experimental research is being conducted on introduction of various versions of electric buses into operation in many countries of Europe, North America, in China, Japan, Korea, and other states [1]. In Russia, the city of Moscow has become the initiator of introduction of electric buses for urban public transport.

When developing projects and determining the required infrastructure, it is necessary to substantiate the concept and methodological approaches of selecting routes, organising transportation, to quantify the needs for charging stations depending on their type, and to conduct an economic assessment of the proposed solutions regarding specific operating conditions. Some specific issues of efficient organisation of operation of public transport are considered in the works [2–5].

Electric buses are a relatively new type of vehicles, and that predetermines the need for a balanced and objective substantiation of the choice of certain alternative options for technical, technological, organisational, economic, and other solutions.

An earlier analysis of regulation and organisation of passenger transportation by urban surface electric transport conducted by the authors made it possible to reveal that at present various systems of vehicle classification are used [in Russia], but the term «electric bus» has not been approved [6]. For the time being, only trams and trolleybuses are legally classified as urban electric vehicles.

Based on the requirements for admission of drivers for the right to drive electric buses, they belong to vehicles of «D» category, i.e., to buses. According to the concepts of battery charging speed, the electric buses can be divided into several classes and groups [6].

At present, researchers and industrial employees do not have a clear answer regarding economic feasibility of switching from diesel buses to electric ones. In some countries and cities, there are still adherents of converting urban transport to gaseous fuels, hydrogen, hybrid plants and other alternative fuels. In specific operating conditions and with specific

infrastructure, each option can be economically justified. Type (class) of the bus, its passenger capacity, etc. are of great importance in justifying the transition to electric buses. Currently, both in the world and in particularly in Russia, when developing projects for introduction of electric buses into operation, vehicles with a length of 12 meters, which are large class buses, are usually considered. It is evident that buses of a class of a lower or higher capacity will have completely different economic features.

The issue of choice of the concept and economic assessment is currently a debated topic at the international level, and the unanimously accepted approach is missing [7–10].

Innovative development in any area of the economy is a field of searching for alternative options and concepts. Public transport is no exception. The tendencies of agglomeration enlargement throughout the world [4; 5], deterioration of the ecological situation in them [6], problems emerging due to an increase in the number of vehicles on the road network [1–4] force the city authorities to make decisions aimed at development of transport using alternative fuels.

Development of the route network of electric buses

1049 municipal routes of regular transportation are registered in the city of Moscow, including 771 routes serviced by Mosgortrans [Moscow City Transport] State Unitary Enterprise in accordance with the register of December 27, 2019¹.

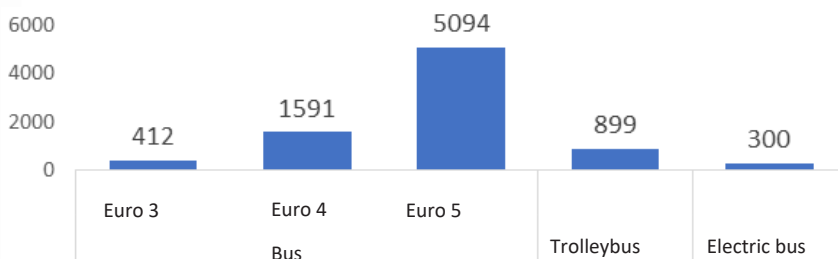
At present, SUE Mosgortrans is the main operating enterprise of buses using electric traction [in the country] and the sole in the city of Moscow.

The analysis of the structure of vehicles of SUE Mosgortrans as of 01.01.2020 showed that the total number of vehicles was 8926 units (Pic. 1), including 300 electric buses.

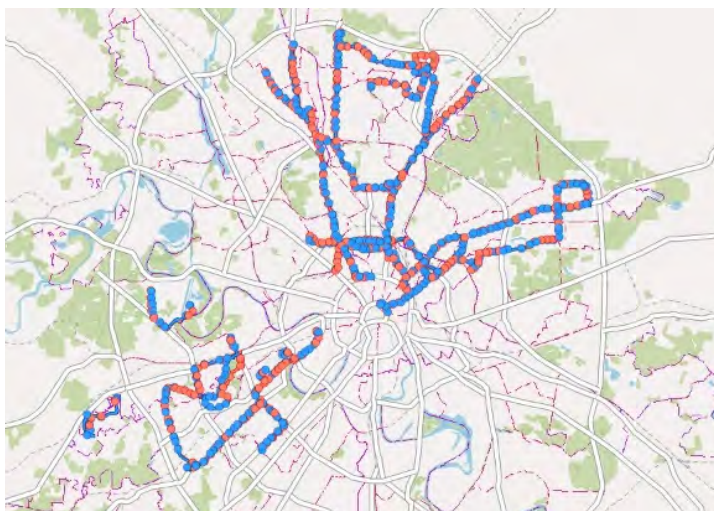
According to the information of the single information system (SIS) in the field of procurement, in 2018 two contracts were

¹ Official website of the Mayor of Moscow. Register of municipal routes for regular transportation of passengers and luggage by road and surface electric transport in the city of Moscow dated December 27, 2019. [Electronic resource]: <https://www.mos.ru/dt/documents/view/223682220/>. Last accessed 23.03.2020.





Pic. 1. Structure of vehicles of SUE Mosgortrans (data provided by SUE Mosgortrans).



Pic. 2. Routes of buses with electric traction (the map was compiled on the basis of data from the official website of SUE Mosgortrans using GIS Mosgortrans software).

concluded for supply of 200 buses with electric traction to the North-Eastern branch with the provision of services for their subsequent maintenance and repair for 15 years. According to the results of the competition, 100 units of KamAZ-6282² and 100 units of LiAZ-6274³ model were delivered.

According to the decisions taken in 2018⁴, 100 units of KamAZ-6282 model were purchased with delivery to Filevsky bus and trolleybus depot of the Central branch of SUE Mosgortrans.

² Official website of SIS. Electronic auction No. 0173200001417001533. [Electronic resource]: <https://zakupki.gov.ru/epz/order/notice/ea44/view/supplier-results.html?regNumber=0173200001417001533>. Last accessed 23.03.2020.

³ Official website of SIS. Electronic auction No. 0173200001417001534. [Electronic resource]: <https://zakupki.gov.ru/epz/order/notice/ea44/view/supplier-results.html?regNumber=0173200001417001534>. Last accessed 23.03.2020.

⁴ Official website of SIS. Electronic auction No. 0173200001417001532. [Electronic resource]: <https://zakupki.gov.ru/epz/order/notice/ea44/view/supplier-results.html?regNumber=0173200001417001532>. Last accessed 23.03.2020.

In 2020, it is planned to supply 200 electric buses of KamAZ-6282 model to the territory of the operating site of the First trolleybus depot and 100 electric buses of LiAZ-6274 model to the operating site of Filevsky bus and trolleybus depot of the Central branch of SUE Mosgortrans^{5, 6}.

As of the first quarter of 2020, electric buses operate on 23 regular routes. The general operational characteristics of the routes are presented in Table 1. The routes are shown in Pic. 2.

In accordance with development plans for 2020, it is planned to convert 10 trolleybus and 14 bus routes into electric bus routes. The future route network of SUE Mosgortrans for buses with electric traction is shown in Pic. 3.

⁵ Official website of SIS. Electronic auction No. 0173200001419001670. [Electronic resource]: <https://zakupki.gov.ru/epz/order/notice/ea44/view/common-info.html?regNumber=0173200001419001670>. Last accessed 23.03.2020.

⁶ Official website of SIS. Electronic auction No. 0173200001419001671. [Electronic resource]: <https://zakupki.gov.ru/epz/order/notice/ea44/view/supplier-results.html?regNumber=0173200001419001671>. Last accessed 23.03.2020.

Table 1

Operating indicators of routes

No. of route	End points	Fleet	Release total /SLC/ LC/MC/SC (un)	Time of turnaround trip (mi)	Route length (km)	Operating speed (km/h)	Minimal interval (min)	Maximal frequency (un/h)	Transportation peak/inter-peak/ day (pass)
93	VDNH (south)— Medvedkovo metro	EL	6/-/-/6/-	86,4	10,9	15,1	17,6	3,4	803/991/2218
107	Filevsky park metro— Matveevskaya platf.	ELC	6/-/6/-/-	53,8	6,6	14,7	11,3	5,3	713/729/1691
205K	Kievsky station— Ul. Dovzhenko	ELC	6/-/6/-/-	41,5	6	17,4	9	6,7	933/725/1950
622	Ozernaya metro— Slavyansky bulvar metro	C	9/-/9/-/-	87,3	14	19,2	10,7	5,6	1621/1573/3969
649	Yasny pr.— Ostashkovskaya ul.	EL	5/-/5/-/-	59,7	6,4	12,9	16,7	3,6	403/380/879
778	Rizhsky station— Spartakovskaya pl.	EL	4/-/4/-/-	42,3	5,4	15,3	13	4,6	432/485/1153
791	Kievsky station— 4-Setunsky pr.	ELC	7/-/7/-/-	32,9	4,6	16,8	5,9	10,1	1521/1101/3479
810	Rizhsky station— Tikhvinskaya ul.	EL	3/-/-/3/-	43,9	3,6	9,8	25	2,4	-/-/-
832	Krylatskoe—Sport center Krylatskoe	ELC	5/-/5/-/-	43,4	5,4	14,9	9	6,7	658/639/1554
Sk1	TMK/Sibur—Hub	ELC	3/-/3/-/-	36	5,9	19,7	23,1	2,6	-/-/-
H3	Ussuriiskaya ul.— Kitay-gorod metro	EL	6/-/6/-/-	138	20,4	17,7	37,5	1,6	-/-/332
T14	Severyaninskiy overpass— Elektrozavodsky bridge	EL	16/-/16/- /-	143,7	15,2	12,7	12	5	-/-/-
T17	Ozernaya metro— Kievsky station	ELC	20/-/20/- /-	103,4	12,6	14,6	5,8	10,3	6846/6473/16629
T25	Prosp. Budennogo— Lubyanka metro	EL	11/-/11/- /-	82,4	7,6	11,1	9	6,7	-/-/-
T34K	ul. Kravchenko— Kievsky station	ELC	17/-/17/- /-	96,2	10,9	13,6	6,3	9,5	5937/4947/12032
T36	VDNH (south)— Dmitrovskoe sh	EL	15/-/15/- /-	112,9	13,1	13,9	9,2	6,5	-/-/-
T42	Rizhsky station— Petrovskiy park metro	ELC	14/-/14/- /-	56,8	5,8	12,2	6	10	-/-/-
T47	Beskudnikovskiy per.— Samotechnaya pl.	EL	20/-/20/- /-	95,7	12	15,1	6	10	6737/5275/15090
T56	Bazovskaya ul.— Tverskaya Zastava	EL	20/-/20/- /-	109,6	13,8	15,1	4,7	12,8	1736/2469/6279
T73	6-mkr. Bibireva— VDNH (south)	EL	34/-/34/- /-	105,4	12,4	14,1	3,7	16,2	-/-/-
T76	Kholmogorskaya ul.— VDNH metro	EL	28/-/28/- /-	69,3	8,8	15,2	2,9	20,8	-/-/-
T80	6-mkr Bibireva— Ostashkovskaya ul.	EL	10/-/10/- /-	68,3	7,1	12,5	8,8	6,8	-/-/-
T83	Ussuriiskaya ul.— Preobrazhenskaya pl. metro	EL	17/-/17/- /-	78,3	8,9	13,6	5,8	10,3	-/-/-

Source: Mosgortrans GIS software system.

When developing a project to create an infrastructure for operation of highly environmentally friendly electric vehicles, and introducing electric traction buses with dynamic charging, it is proposed to consider not only the prospects for development of the

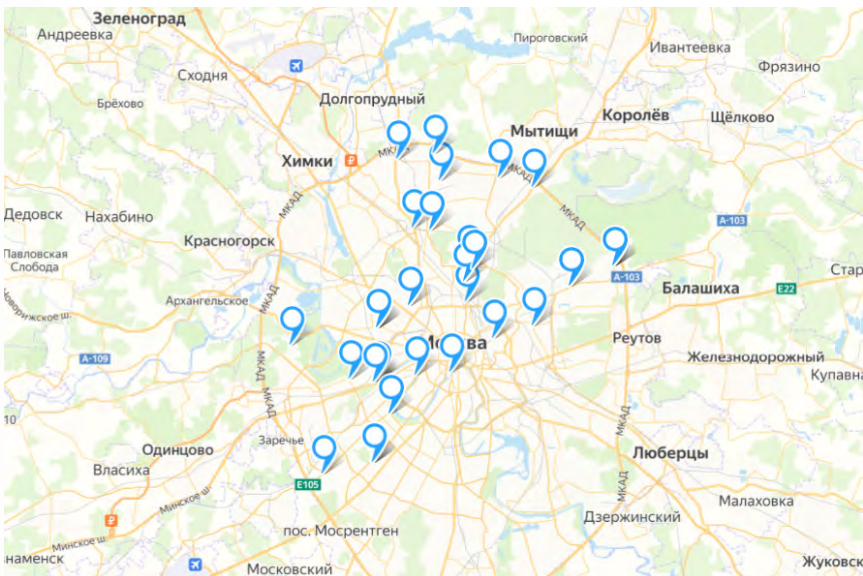
route network of electric buses of SUE Mosgortrans, but also the existing transport infrastructure of trolleybuses.

First, it is proposed to implement bus routes, which completely coincide with trolleybus routes. The analysis of the route





Pic. 3. Prospective electric bus route network. Source: GIS Mosgortrans software package.



Pic. 4. Layout of location of charging stations. Source: Tender documentation. Terms of reference.

network made it possible to identify 12 such routes (Table 2).

At the same time, it is proposed to exclude express routes and routes served by buses of a super large class (903, 907, T144K, T63, T71), since the operation of electric buses on these routes can have a significant impact on quality of transportation services for the population.

Calculation of the required number of charging stations

According to the analysis of the tender documentation, along with supply of buses with electric traction, supply, and installation of 98 charging stations is envisaged. The layout of location of charging stations is shown in Pic. 4.

A general perspective layout of location of ultrafast charging stations is shown in Pic. 5.

Table 2

Operating characteristics of bus routes

No. of route	End points	Release total/SLC/ LC/MC/SC (un)	Time of turnaround trip (min)	Route length (km)	Operating speed (km/h)	Minimal interval (min)	Maximal frequency (un/h)	Transportation peak/ inter-peak/day (pass/)
903	Kholmogorskaya ul.— Prosp.Mira metro	27/15/12/- /-	80,3	13,4	20	2,8	21,4	9657/10121/26521
907	Kashirskoe sh., 148— Dobryninskaya metro	15/15/-/-/-	97,7	17,8	21,9	9,2	6,5	6338/7429/17725
T18	Rizhsky station— Strelbishchensky per.	14/-/14/-/-	108,8	10,7	11,8	6,6	9,1	5217/5095/12910
T26	Karacharovsky overpass— Avtozavodsky bridge	12/-/12/-/-	105,8	13,8	15,6	10,7	5,6	8113/6711/18298
T32	Ussuriiskaya ul.— Garazhnaya ul.	17/-/17/-/-	141,8	17,1	14,5	13	4,6	2472/2811/8281
T51	Pl. Solovetskikh Yung— Izmailovskaya metro	11/-/11/-/-	49,2	4,8	11,7	4,8	12,4	5640/4855/14926
T63	138-kv Vykhina— Taganskaya metro	15/15/-/-/-	105,2	14,1	16,1	8,2	7,3	8500/9801/24023
T67	Kashirskoe sh., 148— Avtozavodskiy bridge	6/-/6/-/-	112,5	18,2	19,4	23,1	2,6	1650/1971/4803
T71	Kashirskoe sh., 148— Dobryninskaya metro	15/15/-/-/-	123,4	17,8	17,3	9,7	6,2	7501/6863/18749
T86	Serebrynniy bor—Sokol metro	12/-/12/-/-	93,4	11,7	15	8,6	7	5274/3713/11646
T88	Prosp. Budennogo— Komsomolskaya pl.	6/-/6/-/-	51,3	5,4	12,6	10,9	5,5	1942/1668/4929
T144K	Kravhcneko ul.— Oktyabrskaya metro	10/-/10/- /-/	51,3	8,8	20,6	6,9	8,7	3607/4708/9961

The primary step to determine the required number of charging stations is to assess the number of vehicles operated on the route. When calculating the number of vehicles A_o , the necessary initial data are:

1. Data on passenger traffic flow in the context of hours of the day, days of the week and stopping points (entry/exit).
2. Passenger capacity of an electric bus.
3. Operating data of the route (time of turnaround trip, route length, operating speed, etc.).

In this case, the passenger capacity is determined considering the number of seats and standing places (no more than eight people per square meter of the area which is not occupied by seats).

Calculation of A_o must be performed separately for the spring-summer period and the autumn-winter period, weekdays and weekends, rush hours and inter-peak hours.

The analysis of various approaches of calculating A_o made it possible to group them according to three indicators:

1. According to the given performance of the bus using electric traction.
2. According to the passenger flow.
3. According to the set traffic interval.

A feature of calculating time of the turnaround trip t_{ta} when determining A_o , regardless of the choice of the target indicator, is the need to consider the battery charging time, respectively:

$$T_{ta} = \sum t_m + \sum t_{st} + \sum t_{tst} + \sum t_{ch},$$

where t_m — time of movement on the route;

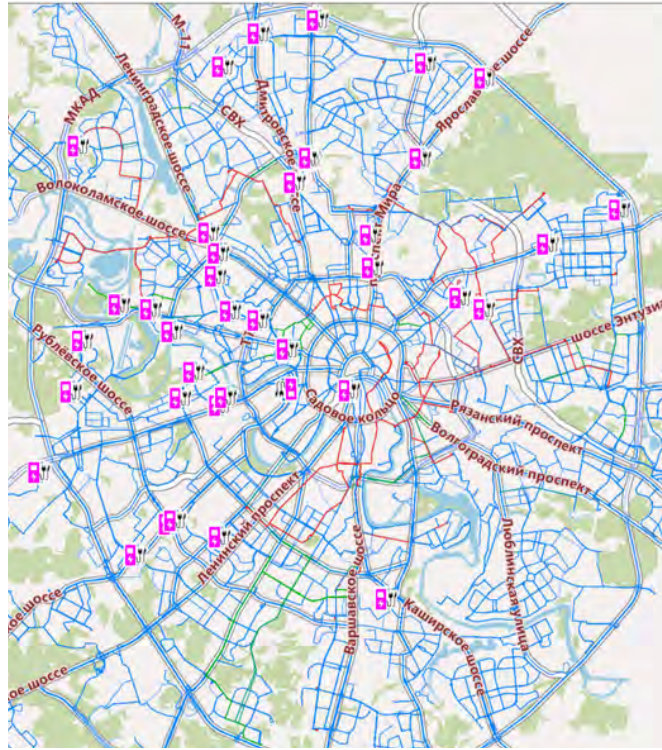
t_{st} — idle time at intermediate stopping points for embarking/disembarking passengers;

t_{tst} — technological idle time at terminal stopping points;

t_{ch} — battery charging time which is defined as the product of the required number of charging cycles by time spent on one charge cycle.

It should be noted that $\sum t_{ch} > 0$, when operating buses with electric traction within the models of slow and ultra-fast charging. For buses powered by electric traction with dynamic charging, $\sum t_{ch} = 0$ since the battery





Pic. 5. Prospective layout of location of charging stations. Source: Mosgortrans GIS software system and tender documentation.

can be powered when driving from the trolleybus overhead line.

In the future, it is proposed to calculate the required number of buses with electric traction, depending on the selected indicator.

For a given performance of a bus powered by electric traction, the calculation of A_o is performed according to the formula:

$$A_o = \frac{Q \cdot (l_{tr} + V_{ts} \cdot \beta \cdot (\sum to + \sum tch))}{T_r \cdot q \cdot \gamma_{pc} \cdot C_{pr} \cdot V_t \cdot \beta},$$

where Q – performance of a bus on electric traction;

l_{tr} – trip length;

V_{ts} – technical speed;

β – coefficient of mileage use;

T_o – time of route operation;

q – passenger capacity;

γ_{pc} – coefficient of passenger capacity use;

C_{pr} – coefficient of rotation of passengers on the route.

According to data of the passenger flow, the calculation of the required number of buses with electric traction A_o is made according to the formula:

$$A_o = \frac{Q_{max} \cdot t_{fa}}{q \cdot \gamma_{pc}},$$

where Q_{max} is maximal passenger intensity on the route segment.

According to the set interval of movement the calculation of A_o is made according to the formula:

$$A_o = 60 t_{td} / I_{ti},$$

where I_{ti} is a set interval of electric buses traffic.

The calculation of the number of charging stations depends directly on the chosen concept of the mode of charging electric buses.

Thus, the power supply system of a bus powered by electric traction with dynamic recharging can become the basis of a single charging infrastructure for the entire electric transport of the city, thanks to the connection of objects with a contact network⁷. The use of contact networks will make it possible to avoid large earth works, which will shorten the project implementation time.

Due to dynamic charging when moving from the contact network, buses with electric

⁷ Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated April 18, 2013 No. NA-37-r «On enactment of Guidelines for calculation economically substantiated cost of transportation of passengers and luggage on urban and suburban routes with public road and urban surface electric transport». [Electronic resource]: <https://www.mintrans.ru/press-center/news/5761>. Last accessed 23.03.2020.

traction of any class can work steadily for 24 hours on the route, without wasting time on charging the batteries.

Charging stations for private electric vehicles, taxis and shared cars can be integrated into the catenary support.

The traction substation with installation of blocks of capacitances for the efficient use of recuperation and solar photoelectric cells will increase energy efficiency.

At night, businesses that line the overhead networks use power for slow charging stations for municipal and commercial electric vehicles.

Calculating the number of charging stations for electric buses with slow and ultra-fast charging requires additional calculations. Currently, there is no uniform approach of calculating the required number of charging stations. The calculation of the required number of charging stations when choosing the concept of slow and ultra-fast charging is proposed based on the data of the terms of reference regarding procurement of electric buses and in four stages:

1. Calculation of specific energy consumption on the route:

$$W_{sp} = ((1,68 \cdot V_o)/16) + 1, \text{ kW} \cdot \text{h},$$

where V_o – operating speed;

1,68 – power consumption for traction in $\text{kW} \cdot \text{hs}$ at a speed of 16 km/h (average speed according to the ToR regarding purchase of electric buses);

+1 means additional amount of 1 $\text{kW} \cdot \text{h}$ consumed by climate control equipment.

2. Calculation of the total energy consumption on the route:

$$W_r = W_{sp} \cdot L_r, \text{ kW} \cdot \text{h},$$

where W_{sp} – specific energy consumption on the route;

L_r – route length.

3. Calculation of time required for charging traction batteries:

$$t_{ch} = (W_r \cdot 24)/70, \text{ min},$$

where W_r – energy consumption on the route;

70 – used capacity of the battery $\text{kW} \cdot \text{h}$.

4. Calculation of the required number of charging stations:

$$N_{ch} = t_{ch}/I, \text{ un.},$$

where I – planned interval of arrival of buses with electric traction to the charging station.

The calculation of the planned interval of arrival should be carried out considering overlaying of routes, served by buses with electric traction.

Economic assessment of proposed solutions

The economic assessment of introduction and operation of electric buses on urban routes is a relatively new, but relevant subject of research, both for foreign and domestic scientific and practical community.

Currently, domestic and foreign researchers have already developed general methodological approaches of economic assessment of operation of buses with electric traction on urban routes. At the same time, the proposed methods and the results of their approbation do not allow making unambiguous conclusions about advisability of switching to operation of buses with electric traction.

At the same time, it should be noted that there are no regulatory legal acts in the country on calculations of economic justification of the cost of operating buses with electric traction, while there are regulations regarding trolleybuses, trams, diesel buses, etc.

The issue of choosing the concept of economic assessment is currently a debatable topic, and there are no unambiguously accepted approaches at the international level.

The further described approach is based on the methodological recommendations of the Ministry of Transport of the Russian Federation, approved by order of April 18, 2013 No. NA-37-r [14] and is recommended for use in determining direct costs associated with transportation.

The purpose of this methodological approach is to determine the cost of 1 kilometre of a bus run using electric traction.

Initial data in the calculation are:

1. Operating parameters of the routes.

2. Traffic schedule.

3. Transportation volume (actual or planned).

It is proposed to make calculation for each i brand and model of a bus with electric traction according to the formula:

$$\sum_{i=1}^n S_{aoikm} = P_{DWikm} + P_{fikm} + P_{eimovkm} + P_{olikm} + P_{tikm} + D_{ikm} + P_{cnikm} + P_{tsikm} + P_{chskm},$$

rub./1 km of mileage,

where P_{DWikm} – driver's wage fund;

P_{fikm} – fuel costs when equipping electric buses with autonomous diesel heaters, l/h;

$P_{eimovkm}$ – energy costs for movement (charging);

P_{olikm} – costs for operating and lubricating materials;



- P_{tikm} – costs for operation of tires;
 D_{ikm} – depreciation;
 P_{cnikm} – costs for the cable network;
 P_{tsikm} – costs for traction substations;
 P_{chsikm} – costs for charging stations.

When operating a bus with electric traction, the costs do not include the costs of maintenance and repairs, since they are included in the cost of the vehicle according to the terms of the life cycle contract.

Calculation of the cost of 1 seat/kilometre, of 1 passenger/kilometre, and of transportation of 1 passenger, is to be performed according to the formulas, respectively:

$$S_{pass.seat.km\ i} = S_{ik} q_i, \text{ rub.},$$

$$S_{pass.km\ i} = S_{pass.seat.km\ i} \gamma, \text{ rub.},$$

$$S_{pass.i} = S_{pass.km\ i} \cdot l_{av}, \text{ rub.},$$

where q_i – passenger capacity of i brand and model of an electric bus;

γ – average coefficient of use of passenger capacity,

l_{av} – average distance of a trip of one passenger, km.

Conclusion.

The article has analysed the current level and highlighted the immediate prospects for development of operation of buses with electric traction on municipal routes of the city of Moscow.

The general issues of organising operation of buses with electric traction on the routes of public urban surface transport have been considered. The proposed methods for calculating the required number of vehicles on the route are based on classical approaches, considering the peculiarities of operation of electric buses. Similarly, a method is proposed for calculating the required number of charging stations on the route, considering data of terms of reference for purchase of electric buses.

A methodological approach of economic assessment of introduction of electric buses into operation is proposed, based on determination of direct costs related to transportation.

This methodological approach can form the basis for development of projects for introduction of electric buses into operation.

Further research is aimed at development of a frequency method of assessing quality of transport services provided to customers on electric bus routes.

REFERENCES

1. Ayriev, R. S., Kudryashov, M. A. Outlook on Development of Ecological Transport System in a Megalopolis. *World of Transport and Transportation*, Vol. 16, 2018, Iss. 2, pp. 220–232. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1449/1725>. Last accessed 02.08.2020.
2. Bludyan, N. O. To the concept of development of transport services for the population in Moscow region [*K kontseptsii razvitiya transportnogo obsluzhivaniya naseleniya v Moskovskom regione*]. *Avtotransportnoe predpriyatie*, 2009, Iss. 2, pp. 11–13. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12049698>. Last accessed 02.08.2020.
3. Bludyan, N. O. Alternative approach to the concept of modernization of the transport system of Moscow metropolis [*Alternativnyy podkhod k kontseptsii modernizatsii transportnoi sistemy moskovskogo regiona*]. *Avtotransportnoe predpriyatie*, 2013, Iss. 7, pp. 2–6. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19421478>. Last accessed 02.08.2020.
4. Bludyan, N. O., Ayriev, R. S., Kudryashov, M. A. Methodological foundations of multimodal passenger transportation management [*Metodicheskie osnovy upravleniya multimodalnymi passazhirskimi perevozkami*]. *V mire nauchnykh otkrytiy*, 2015, Iss. 10 (3), pp. 1249–1259. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24858928>. Last accessed 02.08.2020.
5. Bludyan, N. O., Ayriev, R. S. Agglomeration approaches to solving transport problems [*Aglomeratsionnye podkhody k resheniyu transportnykh problem*]. *Avtotransportnoe predpriyatie*, 2014, Iss. 8, pp. 2–7. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21832594>. Last accessed 02.08.2020.
6. Kudryashov, M. A., Prokopenkov, A. V., Ayriev, R. S. On the Issues of Regulatory Support for Passenger Electric Vehicles Operation. *World of Transport and Transportation*, 2020, Vol. 18, Iss. 1, pp. 196–211. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1836/2268>. Last accessed 02.08.2020.
7. Rogge, M., van der Hurk, E., Larsen, A., Sauer, D. U. Electric bus fleet size and mix problem with optimization of charging infrastructure. *Applied Energy*, 2018, Vol. 211, pp. 282–295. [Electronic resource]: <https://www.sciencedirect.com/journal/applied-energy/vol/211/suppl/C>. Last accessed 02.08.2020.
8. Göhlich, D., Tu-Anh Fay, Jefferies, D., Lauth, E., Kunith, A., Xudong Zhang. Design of urban electric bus systems. *Design Science*, 2018, Vol. 4. [Electronic resource]: <https://www.cambridge.org/core/journals/design-science/article/design-of-urban-electric-bussystems/1C0E4AA05F6E1FBF8A545E13F6A8D2DE>. Last accessed 02.08.2020.
9. Aber, J. Electric Bus Analysis for New York City Transit. Columbia University, New York, 2016. [Electronic resource]: <http://www.columbia.edu/~ja3041/Electric%20Bus%20Analysis%20for%20NYC%20Transit%20by%20J%20Aber%20Columbia%20University%20-%20May%202016.pdf>. Last accessed 02.08.2020.
10. Kunith, A., Mendelevitch, R., Goehlich, D. Electrification of a city bus network. An optimization model for cost-effective placing of charging infrastructure and battery sizing of fast-charging electric bus systems. *International Journal of Sustainable Transportation*, 2017, Vol. 11, No. 10, pp. 707–720. DOI: <https://doi.org/10.1080/15568318.2017.1310962>. Last accessed 02.08.2020. ●

Acknowledgements. The research was conducted with the support of the Committee on public relations and youth policy of the City of Moscow, application 2019–0417.



ФОРУМ «ТРАНСПОРТНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА-2020»

24 сентября 2020 года в рамках форума состоялось пленарное заседание, в котором приняли участие представители Министерства транспорта, Министерства просвещения, Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Федерального агентства железнодорожного транспорта, ПАО «Совкомфлот», ОАО «РЖД», ректоры высших учебных заведений транспортного комплекса.

Руководитель Росжелдора, заместитель министра транспорта В. Токарев отметил, что транспортный комплекс динамично развивается, следуя глобальным тенденциям. Вектор движе-

ния определяют национальные цели развития до 2030 года, основополагающие стратегические документы, национальные проекты и госпрограммы. Необходимы системное обновление, перестройка образовательных программ и модели взаимодействия вузов с работодателями. Кроме традиционных программ подготовки будут актуальны направления, связанные с технологиями искусственного интеллекта, большими данными, высокоскоростным наземным транспортом, безопасностью, сохранением окружающей среды, городскими транспортными системами, — сказал заместитель министра. — На транспорте необходимо



завершить цифровизацию основных бизнес-процессов, оптимизировать материально-техническую базу, привлечь лучших специалистов через создание комфортных условий и креативной среды. На базе РУТ (МИИТ) началась реализация проекта создания многофункционального технологического кластера «Образцово» – современной инфраструктуры, обеспечивающей подготовку кадров по самым актуальным направлениям. На его площадках будут обучаться, жить и работать свыше 20 тысяч студентов и слушателей профильных образовательных программ. На базе кластера будут также проводиться прикладные исследова-

ния, и развиваться инновационная деятельность.

В рамках форума также состоялось заседание Координационного совета по транспортному образованию с участием ректоров транспортных вузов, на котором ректор РУТ (МИИТ) А. Климов выступил с докладом о ведомственном проекте «Обеспечение транспортной отрасли квалифицированными кадрами».

**На основе материалов пресс-центра
Министерства транспорта
Российской Федерации:
[https://mintrans.gov.ru/press-center/
news/9711](https://mintrans.gov.ru/press-center/news/9711) ●**



FORUM «TRANSPORT EDUCATION AND SCIENCE-2020»

On September 24, 2020, a plenary session was held within the framework of the forum, which was attended by representatives of the Ministry of Transport, the Ministry of Education, the Ministry of Science and Higher Education of Russian Federation, Federal Railway Agency, PJSC Sovcomflot, JSC Russian Railways, rectors of transport higher education institutions.

Vladimir Tokarev, the head of the Federal Railway Agency and Deputy Minister of Transport noted that the transport complex is dynamically developing, following global trends. The

vector of movement is determined by national development goals until 2030, fundamental strategic documents, national projects and state programs. It is necessary to systematically update, restructure educational programs and models of interaction between universities and employers. In addition to traditional training programs, areas related to artificial intelligence technologies, big data, high-speed land transport, safety, security, environmental preservation, and urban transport systems will be relevant, the Deputy Minister said. In transport sector, it is necessary to complete digitalization of



main business processes, optimize the material and technical base, attract the best specialists through creation of comfortable conditions and a creative environment. Within the campus of Russian University of Transport, a project has started which will result in creation of a multifunctional technological cluster «Obraztsovo», a modern training facility providing training in the most relevant areas, and where more than 20 thousand students and attendees to specialized educational programs will study, live, and work. The cluster will be basis for applied research and innovative activities.

Within the framework of the forum, a meeting of the Coordinating Council for transport education was held. It was attended by rectors of transport universities. Alexander Klimov, the rector of Russian University of Transport, made a report highlighting the departmental project «Provision of the transport industry with qualified personnel».

**Based on the materials
of the Press Centre of the Ministry
of Transport of Russian Federation:**
[https://mintrans.gov.ru/press-center/
news/9711](https://mintrans.gov.ru/press-center/news/9711) ●



МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОЛИМПИАДЫ 172

Математика для будущих инженеров: выявление талантов.



ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ 190

Малоинтенсивные железные дороги: как организовать работу?



ОБРАЗОВАНИЕ И КАДРЫ • HRM, EDUCATION & TRAINING



MATHEMATICAL OLYMPIADS 181

Mathematics for future engineers: revealing the talents.



RAILWAYS 196

Low-intensity railways: how can we optimise staffing?





Об истории математических олимпиад



Платонова Ольга Алексеевна – Российский университет транспорта, Москва, Россия.*

Ольга ПЛАТОНОВА

Любая олимпиада – одна из значимых форм развития познавательной активности человека. Математические олимпиады для школьников в нашей стране проводятся уже несколько десятилетий. Такая «долгая жизнь» олимпиадного движения говорит о важности этой формы. В статье рассматриваются основные этапы становления и развития математических олимпиад. Дается краткий обзор возникновения олимпиадного движения в России и других странах. Особое место отведено опыту проведе-

ния таких олимпиад в стенах Российского университета транспорта, где математические олимпиады проводятся с 2000 года, в силу чего текущий год можно считать юбилейным. В статье приводятся некоторые формы работы со школьниками, которые предшествовали появлению математических олимпиад в университете. Обсуждается важность такой работы, которая направлена на развитие интереса к инженерному образованию и более глубокому изучению математики.

Ключевые слова: математические олимпиады, инженерное образование, транспортное образование.

*Информация об авторе:

Платонова Ольга Алексеевна – кандидат физико-математических наук, доцент Российского университета транспорта, Москва, Россия, platonova_o_a@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 18.09.2020, принята к публикации 04.11.2020.

For the English text of the article please see p. 181.

Как говорил Михаил Ломоносов: «А математику уже затем учить следует, что она ум в порядок приводит» [1]. Поэтому появление математических олимпиад было явлением нужным, полезным и закономерным. Если говорить сухим языком определений, то «математическая олимпиада — это предметная олимпиада между учащимися школ или вузов по решению нестандартных математических задач». При организации олимпиады ставится задача не только выявления сильных, одарённых учеников, но и создания общей атмосферы праздника математики, развития интереса к решению задач и самостоятельности мышления.

Состязательность и интерес к математике были свойственны человеку всегда. А сами математические состязания появились так же давно, как и царица наук. Исторически их тоже решили называть олимпиадами. Самые первые упоминания о подобного рода соревнованиях встречаются ещё в истории Древней Индии. Намного позже уже Архимед посылал своим соперникам и коллегам любопытные математические задачи в Александрию [2].

Математические турниры, например, проводились в Неаполитанском Королевстве Фридриха II Гогенштауфена. С ними связано имя (известное нам, благодаря роману Дэна Брауна «Код да Винчи») математика Леонардо Фибоначчи (Леонардо Пизанский из Пизы, ок. 1170–1250 гг.).

Формула для решения квадратных уравнений была найдена ещё в Древнем Вавилоне. И все выдающиеся математические умы два тысячелетия безрезультатно пытались найти формулы для решений уравнений третьего и четвёртого порядка. В этой полной драм и тайн истории не последнее место отводилось «математическим соревнованиям». Правда, тогда они носили более личностный характер. Состязания, в которых участвовали Иоганн Палермский и Леонардо Пизанский (XIII век) или Никколо Тарталья и Антон Фиор (XVI в.), можно скорее назвать «математическими дуэлями». Любопытно, что интеллигентная публика того времени довольно активно интересовалась этими дуэлями. В ходе одного такого поединка, например, Никколо Тарталья нашёл формулу для решения



Профиль Архимеда на медали Филдса – самой престижной награде в области математики.
[Электронный ресурс]: https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/434859/Arkhimed.
Доступ 18.09.2020.



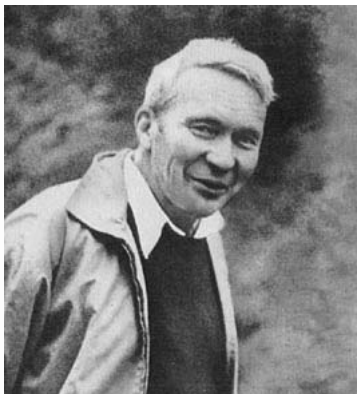
Никколо Фонтана Тарталья (1499/1500–1557), итальянский математик. Перевёл на итальянский «Начала» Евклида и сделал комментарий к ним.
[Электронный ресурс]: https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/432699/Skandal_davno_minuvshikh_dney.
Доступ 18.09.2020.

кубического уравнения. И это стало величайшим открытием в математике [3].

В XVIII веке стали популярны «Соревнования по переписке». В такой переписке были замечены Иоганн Бернулли, Готфрид Лейбниц, Исаак Ньютон, Леонард Эйлер... Результаты эпистолярного жанра, как правило, публиковались в научных журналах того времени. Например, в немецком *Acta Eruditorum*.

Так в июне 1696 года швейцарский математик Иоганн Бернулли разослал своим наиболее выдающимся коллегам одну любопытную задачу о брахистохроне. В ней требовалось «найти кривую, двигаясь по





Андрей Николаевич Колмогоров (урождённый Катаев) (1903–1987) – русский и советский математик, относящийся к числу крупнейших математиков XX века. Один из родоначальников современной теории вероятностей. [Электронный ресурс]: <https://interesnyefakty.org/andrei-kolmogorov/>. Доступ 18.09.2020.

которой исключительно под действием силы тяжести, тело пройдёт путь из точки А в точку В за наименьшее время». В мае 1697 года было опубликовано решение Лейбница. Всего же было получено четыре решения, авторами которых были Лейбниц, маркиз Лопиталь, Якоб Бернулли и автор задачи – Иоганн Бернулли. Но ещё было решение одного неизвестного автора, которое было опубликовано в журнале «Философские записки» в январе 1697 года, то есть через полгода. Как все уже знают, этим неизвестным автором был Исаак Ньютон. Увидев удивительно простое решение из 77 слов, Иоганн Бернулли, конечно, угадал автора и произнёс знаменитое: «*Tanquam ex ungue leonem*» – «По когтям узнают льва» [4].

Позже появились состязания на приз французской Академии наук. Софья Ковалевская однажды стала его победителем, а не менее гениальный Бернхард Риман, без которого не было бы теории относительности, был рядовым участником в этих состязаниях.

В XIX и XX веках во Франции проходили Concours General (общие соревнования) и Concours of the French grandes ecoles (соревнования «Больших школ»). Все знают о знаменитых Кэмбриджских математических экзаменах (Mathematical Tripos), где целью была не победа, а получение высшей оценки. Выдающиеся рекорды таких экзаменов запоминаются навсегда. До сих пор не побит результат одного 18-летнего фран-

цузского школьника Жака Соломона Адамара (1865–1963), который в детстве ненавидел арифметические задачи, но стал всемирно известным математиком. На экзаменах в Эколь Политехник он установил рекорд – 1834 балла из 2000 возможных, но для учёбы выбрал Эколь Нормаль. Такого результата не показывал никто и никогда [5].

Очевидно, что перечисленные выше состязания имели более «высокие» цели, чем простые школьные математические олимпиады, но, как говорится «плох тот солдат...».

Прообразом современных соревнований школьников можно считать Этвешское соревнование в Венгрии в 1896 г., ставшее первой математической олимпиадой [6]. Формат заданий практически не изменился с того времени. На отборочном этапе участники должны решить задачи из школьной программы (от элементарных до задач средней сложности). Как правило, в основе предлагаемых для решения задач лежат интересные идеи, угадав которые, возможно устное решение или решение с минимальными вычислениями. Сложные задачи на первом этапе не предлагаются. Второй (заключительный) этап олимпиады уже должен включать задачи повышенной сложности (от средних до очень тяжёлых). Это могут быть задачи, которые требуют серьёзных размышлений и кропотливых подсчётов. Но задания всё равно составляются с учётом того, что решения не должны требовать знаний вне школьной программы. А для победы участникам требуется ещё определённая «математическая культура».

Астрономическое общество Российской Империи в конце XIX века стало первым учредителем «Олимпиады для учащейся молодёжи». К сожалению, никаких документальных свидетельств с заданиями, участниками, победителями об этом не осталось. Немного позже в 1884 году стартовал выпуск журнала «Вестник опытной физики и элементарной математики», в котором публиковались конкурсные задания для школьников. Это была первая заочная олимпиада. И начало было положено...

В декабре 1911 года в Санкт-Петербурге проходил Первый Всероссийский съезд преподавателей математики, где собрались

учителя из всех губерний и преподаватели основных университетов (1217 участников). На съезде очень активно обсуждались проблемы преподавания математики и идея состязательности в ней [7].

В 1922 году студент МГУ, начинающий математик, 19-летний Андрей Колмогоров начал подрабатывать преподавателем в Потылихской опытно-показательной школе Наркомпроса в Москве. Очень любопытный факт, что эта экспериментальная школа отчасти повторяла знаменитую нью-йоркскую школу Дальтона (её «обессмертил» Вуди Аллен в фильме «Манхэттен»). В Дальтон-плане задекларировано: «для успешного обучения нужны свобода, самостоятельность, сотрудничество» [8].

Дальтон-план, по которому работали в школе, где студент Колмогоров преподавал физику и математику, предусматривал индивидуальный план работы каждого ученика. Ребёнок самостоятельно составлял программу занятий на месяц. *«Каждый школьник большую часть школьного времени проводил за своим столиком, шёл в... библиотеки вынуть нужную книжку, что-нибудь писал, — вспоминал Колмогоров в своём последнем интервью. — А преподаватель сидел в уголке, читал, и школьники подходили по очереди, показывали, что они сделали».* Эту картину — учитель, молча сидящий в углу, — десятилетия спустя можно будет увидеть на занятиях математических кружков [9].

Впрочем, школа с такой раскованной творческой атмосферой просто не могла долго существовать в СССР. И в 1930-е годы Дальтон-план осудили и запретили.

Математика, классическая музыка, поэзия, занятия спортом и обмен идеями с друзьями — таков образ идеального человека и идеальной школы по Колмогорову. Примерно в сорок лет он составил «Конкретный план того, как сделаться великим человеком, если на то хватит охоты и усердия». Где-то к 60-ти Колмогоров должен был прекратить научную работу и полностью посвятить жизнь преподаванию в средней школе. И он жил по этому плану [9].

Реализовать решения того самого съезда преподавателей математики смогли только в Советском Союзе, когда в 1933 году знаменитый питерский математик Бо-



Железнодорожная школа-семилетка № 2. Ученики за работой в столярной мастерской. Конец 1920-х—начало 1930-х гг. [Электронный ресурс]: russiainphoto.ru/. Доступ 18.09.2020.

рис Делоне предложит новую систему работы с детьми. В основе этой системы лежали математические кружки при школах и Домах пионеров. В конце каждого учебного года должны были проводиться итоговые олимпиады, которые и выявляли победителей.

Любопытно, что эти первые олимпиады не делились по возрастам, и все школьники решали одинаковые задания. Победители первой питерской математической олимпиады получили в подарок кожаные портфели с надписью золотыми буквами: *«В науке нет широкой столбовой дороги, и только тот может достигнуть её сияющих вершин, кто, не страшась усталости, карабкается по её каменистым тропам»* (К. Маркс). Также победителям предоставлялось право быть зачисленным без экзаменов на выбранную физико-математическую специальность Ленинградского университета [10].

Особая привлекательность математических олимпиад состоит в том, что в них могут принимать участие даже ученики младших классов, а организаторы могут гораздо раньше найти «своего ученика».

Автор книги «Затейные задачи» Борис Кордемский пишет: *«Любая задача на сообразительность таит в себе изюминку, собственную неповторимость, даже если*





Борис Николаевич Делоне (1890–1980).
[Электронный ресурс]: <https://risk.ru/u/img/154/153981.jpg>. Доступ 18.09.2020.

относится к определённым типам задач. Она представляет собой так называемый «крепкий орешек», раскусить который не так-то легко, но тем более заманчиво» [11, с. 6].

В 1935 году математические олимпиады добрались и до столицы, что «случайно» совпало с переездом в столицу Бориса Делоне. Уже весной великие Колмогоров и Александров организовали в Москве первую математическую олимпиаду для детей, которая прошла при содействии Московского математического общества. Опыт ленинградских коллег оказался очень кстати. В конце февраля по школам распространили объявление о проведении олимпиады и образцы задач для подготовки. Соревнование традиционно проходило в два тура. На первый тур было подано более 300 заявок, причём не только от школьников. В Олимпиаде решили себя попробовать и рабфаковцы, и учащиеся вечерних школ. Самому юному математику было 14 лет, самому старшему — 29. Задания, как было принято везде, не выходили за рамки школьной программы.

Второй тур запланировали на лето, и к участию допустили 131 человек. Более того, все ребята, которые справились с первым туром, были приглашены на лекции самых выдающихся советских математиков: Павла Сергеевича Александрова, Нила Александровича Глаголева, Андрея Николаевича Колмогорова, Александра Геннадиевича Куроша. Победителями той первой олимпиады стали Игорь Зверев,

Николай Коробов и Анна Мышкис. Впоследствии они поступили на мехмат МГУ, отсюда были призваны на войну: Анна погибла в 1943 году, Игорь и Николай вернулись и преподавали на мехмате [12].

Олимпиады в Москве не проводились с 1942 по 1944 годы. Но это не значит, что они не проводились вообще — состязания, как и люди, тоже были «эвакуированы»: в Ашхабад и Казань. Но сразу после окончания войны вернулись в Москву. Приблизительно в это время олимпиады стали проводиться в Тбилиси и Киеве. С 1947 г. — в Вологде, Иваново, Иркутске, Смоленске; с 1949 г. — в Саратове; с 1950 г. — в Беларуси и ряде других республик СССР [12, с. 5–17; 16, с. 3–20].

В 1961 году прошла первая Всероссийская олимпиада по математике. В 1964 году начал работу объединённый комитет олимпиад под председательством академика Петра Капицы. Через год этот пост занял физик-экспериментатор Исаак Константинович Кикоин. Именно он вместе с Колмогоровым основал знаменитую математическую школу-интернат при МГУ (ныне СУНЦ им. А. Н. Колмогорова) и стал первым главным редактором знаменитого «Кванта», по которому учились все увлечённые математикой дети, именно он добился льгот для победителей олимпиад при поступлении в вузы.

В 1967 году Минпрос РСФСР был преобразован в союзное министерство и олимпиады получили статус всесоюзных (с 1992 года — опять всероссийских). Соответственно, с этого года стали проводиться Всесоюзные олимпиады по математике, физике и химии. Первая всесоюзная олимпиада прошла в Тбилиси. Система интеллектуальных соревнований в этот момент очень быстро развивалась: появлялось всё больше заочных состязаний, открывались школы с углубленным изучением предметов, организовывались летние школы (в том числе, в знаменитом «Орлёнке»).

В 1980-х годах вечерняя математическая школа появилась и в МИИТе. Известно, что уже в 1970-е годы преподаватели Московского института инженеров транспорта принимали активное участие в проведении математических олимпиад и создании олимпиадных задач. Со временем

стали появляться и математические олимпиады, проводимые отдельными институтами. Так в МФТИ придумали свою систему физико-математических олимпиад. Студенты, аспиранты и преподаватели, уезжая на каникулы, проводили олимпиаду в родных городах. Потом все работы свозились в Москву и проверялись.

Очевидно, что не все призёры математических олимпиад становились или становятся крупными математиками и выбирают «царицу наук» делом всей своей жизни, но большинство известных учёных свои первые шаги в науку делали именно на олимпиадах. Среди них, например, три советских математика разных поколений, каждый из которых прославился решением одной из «проблем Гильберта», поставленных на рубеже XIX—XX вв. — В. И. Арнольд, Ю. И. Матиясевич, В. М. Харламов.

В международных математических олимпиадах советские школьники стали участвовать в самой первой из них, проведённой в 1959 году в Румынии, где заняли лишь шестое место в общекомандном зачёте, вследствие чего были отстранены от участия на следующие два года. Вторая попытка в Праге в 1962 году принесла Советскому Союзу первое место. Вплоть до 1991 года наша команда только три раза опускалась ниже третьего места.

С 1967 года в международной математической олимпиаде стали участвовать Великобритания, Швеция, Италия, Франция, список стран постоянно пополнялся и сейчас включает более ста стран.

Как и в любом олимпийском движении, здесь тоже главное — не победа, а участие «ради упрочения дружбы и будущего сотрудничества в международном научном сообществе». Хотя медали разных достоинств вручаются победителям именно в личных зачётах. Но при этом самое главное — это неофициальные итоги командного первенства. Его никто не отменял. Эти итоги негласно подсчитываются всегда и служат лучшим индикатором научного потенциала в «большой тройке» наук: математике, физике и химии.

В середине прошлого века математика была настолько популярна, что практически стала массовой профессией. И олимпиады всех уровней в этом процессе играли не последнюю роль. На XV Математи-

ческом конгрессе (Москва, 1966 г.) было объявлено о «решении проблемы описания всех выпуклых трёхмерных многогранников, грани которых — произвольные правильные многоугольники». Это была работа 12 школьников 11 класса ленинградской школы № 239 [13]. В конце 70-х годов в этой же школе преподавал один из величайших математиков XX века Григорий Перельман. Ученики этой школы продолжали побеждать на городских, всесоюзных и международных олимпиадах.

С 1962 по 1991 гг. на олимпиадах по математике был один бессменный лидер — Советский Союз (14 первых мест, 5 вторых и 3 третьих). Серьёзную конкуренцию составляли только США (участвовали с 1974 года и до 1991 года имели в своём активе три первых и по четыре вторых и третьих мест). С появлением в 1985 году на олимпийском небосклоне школьников из Поднебесной всё изменилось. Стартовал Китай с 32 места в командном зачёте, но уже через три года, в 1988 г., стал первым. За 35 последних олимпиад китайская команда становилась первой 21 раз, второй восемь и два раза третьей.

Россия после 1991 года лишь дважды становилась первой, восемь раз второй и пять — третьей. То есть последние тридцать лет КНР — безусловный лидер, за ним с большим отрывом идёт США, а за американцами с ещё большим отрывом Российская Федерация.

Самыми неудачными для нас были последние годы. В 2015 г. — восьмое место, в 2016 г. — седьмое, в 2017 г. — одиннадцатое, в 2019 г. — шестое место, впереди нас оказались команды из Китая, США, КНДР, Южной Кореи и Таиланда. Последняя, 61-я Международная математическая олимпиада проходила в Санкт-Петербурге в сентябре этого года. Это была первая олимпиада, которая проходила дистанционно. Команда из России заняла второе место. На первом месте — сборная Китая, на третьем — США.

В международных олимпиадах по физике ситуация похожа: в 20 олимпиадах Советского периода мы занимали первое командное место 11 раз, второе 3 раза и 4 раза третье место. Но потом снова появился Китай. В 1990 году мы поделили первое место, а в дальнейшем китайские



школьники становились победителями в общекомандном зачёте 21 раз. Россия в эти годы была первой трижды. Также неофициальное первенство дважды выигрывали Тайвань, дважды Иран и один раз США.

Картина на химической олимпиаде примерно такая же, с одной лишь разницей: здесь на пьедестале весь регион Юго-Восточной Азии.

Российская команда владеет утешительным статусом «одного из фаворитов». На нашем счёту более трёх десятков золотых медалей в личном зачёте. Обычная «коллективная» тройка победителей — это Китай, Корея и Тайвань. Иногда они меняются местами [14].

Интересен опыт проведения математических олимпиад в США. Большинство соревнований платные (порядка 50 долларов за участие). Сами олимпиады можно разделить на три вида: «тестовые» олимпиады, где надо решить порядка 20 задач с выбором варианта ответа. К ним можно отнести:

- Washington State Math Championship;
- Michigan Mathematics Prize Competition;
- New York City interscholastic mathematics league;
- Snow College Mathematics Contest;
- Knights of Pi Math Tournament (Grades 5–8);
- Math is Cool.

«Классические» олимпиады — несколько сложных задач и много времени на решение. К ним можно отнести:

- Utah Math Olympiad;
- United States of America Mathematical Olympiad (USAMO).

Нужно иметь в виду и Canadian Mathematical Olympiad (CMO).

И есть ещё ежегодная олимпиада The USA Mathematical Talent Search (USAMTS). Проходит она в течение года несколькими этапами. На решение задач одного этапа (как правило, довольно сложных, творческих и исследовательских) даётся месяц.

У успешных участников этой олимпиады проблем с поступлением (и получением внушительной скидки) в самые престижные университеты США и Канады не возникает. Во всех американских олимпиадах нет строгого правила, что сложность зада-

ний должна точно соответствовать школьной программе.

Ещё в США проходит ежегодная математическая олимпиада «только для девочек» Math Prize for Girls. Проводится она с 2009 года. Будущим «Софьям Ковалевским» предлагается 20 задач и 2,5 часа на решение. Задачи непростые — чтобы их решить, надо очень любить математику. Естественно, победительницам вручают дорогие ювелирные украшения и крупные денежные призы.

Есть математическая олимпиада для девочек и в Китае, проводится с 2002 года. Эта олимпиада отличается очень сложным уровнем задач, вполне на уровне Международной олимпиады.

В Китае очень много математических школ и есть чёткая система отбора детей. Знаменитое китайское трудолюбие тоже играет важную роль в освоении любой науки. У китайских студентов и школьников принято очень много и тяжело заниматься.

Основными математическими конкурсами в Германии является общенациональная олимпиада и Федеральный конкурс по математике. Причём Олимпиада стартовала именно в ГДР в 1961 году.

В Италии проводятся так называемые «Игры Архимеда». Победитель этих игр получает возможность поступления в Roma Tre University. Обладателям второго и третьего мест положена 50 % скидка на обучение в этом же вузе. Ещё в Италии каждый год проводится не только эта национальная олимпиада по математике (призёры которой затем принимают участие в международной математической олимпиаде), но и национальный математический марафон. Этот марафон (Maratona Nazionale di Matematica) проводится строго среди учеников терца медиа [15].

Ведущие вузы нашей страны всегда искали способы привлечь в свои стены самых ярких школьников. Не было исключением и РУТ [16, с. 142–147; 5, с. 163–165; 17, с. 120–124]. Популяризация инженерных профессий, поиск талантов... Для транспортного образования математические компетенции — неотъемлемое требование. Очертить роль математики в практических инженерных областях практически невозможно.

Удивительно, но математика в современных реалиях встречается так часто, что, можно сказать, примелькалась. В профессиях, в которых она используется, важны логика, точность и расчёт. Любая сфера деятельности, какой бы точной, творческой или абстрактной не была, всегда в своей сути содержит самое простое — механизм действия, то, что можно разложить на математические формулы. Поэтому математика — скелет любого процесса. Математика нас окружает везде. Солируя или в симбиозе с другими науками, она образует фундамент для всего нового. С её помощью можно решить самые сложные технические проблемы в разработке транспортного средства на основе математических моделей, которые позволяют моделировать двигатели, локомотивы, реакторы или самолёты. Могут быть вычислены прогнозы, например, поведения кузова транспортного средства при ударе или воздействия воздушной турбулентности на крылья воздушных судов. Или, например, для разработки эффективных систем управления для железнодорожных транспортных средств именно математики строят компоненты электропривода локомотива в меньших масштабах. В дополнение к таким электромеханическим моделям может создаваться математическая модель, описывающая динамику системы через уравнения. Это позволяет моделировать всю систему, например, прогнозировать, как изменения в параметрах повлияет на эту систему.

Региональная математическая олимпиада РУТ в этом году отмечает своё 20-летие. С 2009 года она стала называться «Паруса надежды». География этой олимпиады впечатляет. В разные годы она проводилась в Белгороде, Воркуте, Владивостоке, Екатеринбурге, Ельце, Железногорске, Иркутске, Казани, Карасук, Курске, Льгове, Лабытнанги, Липецке, Нижнем Новгороде, Омске, Ростове-на-Дону, Мичуринске, Самаре, Санкт-Петербурге, Сочи, Хабаровске.

В Москве олимпиада всегда проводилась в два дня, так как в один невозможно было вместить всех желающих. По России число участников заключительного этапа доходило до двух–трёх тысяч.

Над созданием задач математической олимпиады в разные годы трудился большой коллектив авторов: М. Н. Аршинов, В. С. Антоненко, А. И. Гусев, В. Н. Деснянский, В. Б. Минасян, А. С. Милевский, В. М. Сафро, В. Х. Хаханян.

К олимпиадным задачам, повторюсь, предъявляются особые требования. Они должны быть красивы, ярки, разнообразны как по содержанию, так и по лежащим в основе их решения идеям. При этом их решения, как обычно, не должны выходить за рамки школьной программы.

Среди предлагавшихся задач, конечно, были задачи, решение которых требовало свободного владения школьными знаниями по математике. Но были и задачи, решение которых требовало определённой доли сообразительности и умения взглянуть на задачу с неожиданной стороны.

Позволю себе привести пример такой задачи.

Было взято четыре листа бумаги. Некоторые из этих листов были разрезаны на 4 части. Затем некоторые из четвертинок снова разрезали на 4 части и так далее. При подсчёте всех полученных кусков получилось 2016. Доказать, что подсчёт был произведён неверно.

Для решения этой задачи достаточно заметить, что при разрезании одного листа общее количество частей увеличивается на 3. Если бы подсчёт был произведён правильно, то разность общего числа кусков и четырёх начальных была кратна трём. Но $2016 - 4 = 2012$, и на три не делится.

Прочитав решение задачи, можно подумать, что задача слишком лёгкая. Смею вас уверить, очень небольшое число участников олимпиады справилось с её решением.

С 2009 года стартовала объединённая межвузовская олимпиада по математике. РУТ с самого начала проведения этой олимпиады является одной из её площадок. Преподаватели университета активно сотрудничают с оргкомитетом олимпиады, участвуют в разработке олимпиадных задач.

В 2016 году РУТ решил создать ещё одну математическую олимпиаду в честь выдающегося советского математика,



автора учебников, прозаика, доктора технических наук, профессора Елены Сергеевны Вентцель.

Елена Вентцель — крупнейший учёный, много лет проработавшая в нашем университете, автор фундаментальных трудов по теории вероятностей и исследованию операций. Многим Елена Сергеевна также известна под псевдонимом И. Грекова, автор нашумевших в своё время романов: «Кафедра», «Вдовый пароход», «Перелом» и др.

Конечно, математические олимпиады собирают теперь не так много участников. Но интерес к Российскому университету транспорта велик. И сейчас во многих городах России школьники принимают участие в математической олимпиаде «Паруса надежды» и связывают своё будущее с Российским университетом транспорта. А общение педагогов, работающих в школах, с ведущими преподавателями вуза было востребовано всегда и востребовано сейчас [17, с. 254–258].

Хочется ещё раз вспомнить организатора первой питерской олимпиады для школьников член-корреспондента АН СССР Бориса Делоне. Он был очень одарённым человеком в совершенно разных и, казалось, в несочетающихся областях: математик, один из первых в России авиаконструкторов и планерист, известный в стране альпинист... По воспоминаниям студентов во время своих лекций в ЛГУ Борис Николаевич частенько «демонстрировал» стойку на голове на кафедре, потом прыгивал и говорил: «Ну, продолжим»...

Любая олимпиада в жизни каждого участника — это лишь яркий, но короткий эпизод. После этой «стойки на голове» предстоит «обычная взрослая» жизнь, как у всех, ну или почти как у всех. Но олимпиады очень важны, особенно важны для будущих исследователей и инженеров. На сегодняшний день в России проводится около восьми сотен олимпиад. Поэтому что-то важное и интересное для себя может найти каждый школьник вне зависимости от возраста, талантов и увлечений.

«Чистыми» математиками становятся около половины участников «высоких» олимпиад. Причём так происходит не только с российскими участниками. Примерно такие же показатели и в других странах, где

олимпиадное движение развито. Остальные уходят в «смежные» профессии: кто-то становится программистом, кто-то аналитиком в банке, кто-то осваивает профессию инженера... В этих областях тоже нужно хорошо думать. А математика очень способствует этому!

ЛИТЕРАТУРА

1. Демпан И. Я. История арифметики. — М.: Просвещение, 1965. — 416 с.
2. Архимед. [Электронный ресурс]: https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/434859/Arkhimed. Доступ 30.11.2020.
3. Скандал давно минувших дней. [Электронный ресурс]: https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/432699/Skandal_davno_minuvshikh_dney. Доступ 30.11.2020.
4. «По когтям узнают льва». [Электронный ресурс]: <https://math.wikireading.ru/2327>. Доступ 30.11.2020.
5. Жак Соломон Адамар. [Электронный ресурс]: <http://math4school.ru/adamar.html>. Доступ 30.11.2020.
6. Васильев Н. Б., Егоров А. А. Задачи Всесоюзных математических олимпиад. — М.: Наука, 1988. — 288 с.
7. Труды I Всероссийского съезда преподавателей математики. — 1913. — Т. 1. [Электронный ресурс]: https://www.mathedu.ru/text/trudy_I_vserossiyskogo_syezda_prepodavateley_matematiki_t1_1913/p0/. Доступ 30.11.2020.
8. Three steps toward a beginning: a welcome from the Head of School. [Электронный ресурс]: <https://www.dalton.org/about>. Доступ 30.11.2020.
9. Последнее интервью А. Н. Колмогорова. [Электронный ресурс]: <http://vivovoco.astronet.ru/vv/papers/bio/kolmogor/last.htm>. Доступ 30.11.2020.
10. Шаров А. С. Российские Делоне в легендах, воспоминаниях и документах. — М.: Космосинформ, 1998. — 108 с.
11. Кордемский Б. А. Затейные задачи. — СПб.: ООО «Торгово-издательский дом «Амфора», 2015. — 223 с.
12. Гальперин Г. А., Толпыго А. К. Московские математические олимпиады. — М.: Просвещение, 1986. — 303 с.
13. Залгаллер В. А. Выпуклые многогранники с правильными гранями // Записки научных семинаров ЛОМИ им. В. А. Стеклова АН СССР. — Т. 2. — М.: Наука, 1967. — 211 с.
14. Международная математическая олимпиада. [Электронный ресурс]: <https://www.imo-official.org/results.aspx>. Доступ 30.11.2020.
15. List of mathematics competitions. [Электронный ресурс]: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_mathematics_competitions. Доступ 30.11.2020.
16. Виноградов В. В., Кочнева Л. Ф., Платонова О. А. О повышении качества математических знаний // Мир транспорта. — 2014. — № 4. — С. 142–147. [Электронный ресурс]: <https://mirt.elpub.ru/jour/article/view/127>. Доступ 30.11.2020.
17. Платонова О. А., Дмитрусенко Н. С., Пугина Л. В. О математической подготовке будущих инженеров // Труды XIII международной научно-практической интернет-конференции «Преподаватель высшей школы в XXI веке». — Ростов н/Д: Рост. гос. ун-т путей сообщения, 2016. — Сб. 13. — С. 120–124. [Электронный ресурс]: <http://www.t21.rgups.ru/upload/files/konferenciya%20rostov%20doklad%202016-2016-04-13-09-01-17.doc>. Доступ 30.11.2020. ●



History of Mathematical Olympiads



Platonova, Olga A., Russian University of Transport, Moscow, Russia.*

Olga A. PLATONOVA

ABSTRACT

Any Olympiad is one of the most significant forms of development of human cognitive activity. Mathematical Olympiads for schoolchildren have been held in our country for several decades. Such a «long life» of the Olympiad movement speaks of importance of this form. The article discusses the main stages of formation and development of mathematical Olympiads. A brief overview of emergence of the olympic movement in Russia and other countries is given. A special place is given

to the experience of holding such Olympiads within the walls of Russian University of Transport, where mathematical Olympiads have been held since 2000. Therefore, the current year can be considered an anniversary year. The article presents some forms of work with schoolchildren that preceded the emergence of mathematical Olympiads within the University. The importance of such work, which is aimed at developing interest in engineering education and a deeper study of mathematics, is discussed.

Keywords: *mathematical Olympiads, engineering education, transport education.*

*Information about the author:

Platonova, Olga A. – Ph.D. (Physics and Mathematics), Associate Professor of Russian University of Transport, Moscow, Russia, platonova_o_a@mail.ru.

Article received 18.09.2020, accepted 04.12.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 172.

As Mikhail Lomonosov said: «*And then you should learn mathematics, that it puts your mind in order*» [1]. Therefore, the emergence of mathematical Olympiads was a necessary, useful and natural phenomenon. If we speak in the dry language of definitions, then «*a mathematical Olympiad is a subject Olympiad between students of schools or universities in solving non-standard mathematical problems*». When organizing the Olympiad, the task is not only to identify the most gifted students, but also to create a general atmosphere of a holiday of mathematics, to develop interest in solving problems and independent thinking.

Competitiveness and interest in mathematics have always been inherent in a man. And mathematical competitions themselves appeared as long ago as the queen of the sciences. Historically, they also decided to call them Olympiads. The very first mentions of this kind of competition are found in the history of Ancient India. Much later, Archimedes sent curious mathematical problems to Alexandria [2] to his rivals and colleagues.

Mathematical tournaments, for example, were held in the Kingdom of Naples by Frederick II von Hohenstaufen. Associated with them is the name (known to us, thanks to Dan Brown's novel *The Da Vinci Code*) of the mathematician Leonardo Fibonacci (Leonardo Pisano, 1170–1250).

The formula for solving quadratic equations was found in Ancient Babylon. And all the outstanding mathematical minds for two millennia tried in vain to find formulas for solving equations of the third and fourth order.



Archimedes' profile at the Fields Medal – the most prestigious award in mathematics. [Electronic resource]: https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/434859/Arkhimed. Last accessed 18.09.2020.

In this story full of dramas and secrets, not the last place was given to «mathematical competitions». True, then they were more personal in nature. Competitions in which Johannes of Palermo and Leonardo Pisano (13th century) or Niccolo Tartaglia and Anton Del Fiore (16th century) took part can rather be called «mathematical duels». It is curious that the intelligent public of that time was quite actively interested in these duels. During one such duel, for example, Niccolo Tartaglia found a formula for solving a cubic equation. And this was the greatest discovery in mathematics [3].

In 18th century, the correspondence competition became popular. Johann Bernoulli, Gottfried Leibniz, Isaac Newton, Leonhard Euler were noticed in such correspondence... The results of the epistolary genre, as a rule, were published in scientific journals of that time. For example, in the German *Acta Eruditorum*.

Thus, in June 1696, the Swiss mathematician Johann Bernoulli sent out to his most distinguished colleagues a curious problem on the brachistochrone. It required «*to find a curve, moving along which solely under the action of gravity, the body will travel from point A to point B in the least amount of time*». In May 1697, Leibniz's decision was published. In total, four solutions were obtained, the authors of which were Leibniz, the marquis de L'Hôpital, Jacob Bernoulli and the author of the problem, Johann Bernoulli. But there was also a decision by an unknown author, which was published in the journal «*Philosophical Notes*» in January 1697, that is, six months later. As everyone already knows, this unknown author was Isaac Newton. Seeing a surprisingly simple 77-word solution, Johann Bernoulli, of course, guessed who the author was, and said the famous: «*Tanquam ex ungue leonem*» – «*They recognize a lion by the claws*» [4].

Later there were competitions for the prize of the French Academy of Sciences. Sofya Kovalevskaya once became its winner, and no less brilliant Bernhard Riemann, without whom there would be no theory of relativity, was an ordinary participant in these competitions.

In 19th and 20th centuries, France hosted the Concours General (general competition) and the Concours of the French grandes ecoles (Big Schools competition). Everyone knows about the famous Cambridge Mathematical Tripos,

where the goal was not to win, but to get the highest mark. Outstanding records of such exams will be remembered forever. Until now, the result of a 18-year-old French schoolboy Jacques Solomon Hadamard (1865–1963), who hated arithmetic problems as a child, but became a world famous mathematician, has not been beaten. At the exams at the Ecole Polytechnique, he set a record – 1834 points out of 2000 possible, but chose Ecole Normal to study. Nobody ever showed such a result [5].

Obviously, the above competitions had «higher» goals than simple school math Olympiads, but, as they say, «it's a poor soldier that never wants to become a general».

The prototype of modern schoolchildren's competitions can be considered the Eotvos competition in Hungary in 1896, which became the first mathematical Olympiad [6]. The format of the assignments has remained practically unchanged since that time. At the qualifying stage, participants must solve problems from the school curriculum (from elementary to problems of medium complexity). As a rule, the problems proposed for solving are based on interesting ideas, guessing which it is possible to make an oral solution or a solution with minimal calculations. Complex tasks are not offered at the first stage. The second (final) stage of the Olympiad should already include problems of increased complexity (from medium to very difficult). These can be tasks that require serious thought and painstaking calculations. But the assignments are still compiled taking into account the fact that solutions should not require knowledge outside the school curriculum. And to win, the participants also need a certain «mathematical culture».

At the end of 19th century, the Astronomical Society of the Russian Empire became the first founder of the Olympiad for Student Youth. Unfortunately, there is no documentary evidence with tasks, participants, winners about this. A little later, in 1884, the publication of the journal «Bulletin of Experimental Physics and Elementary Mathematics» was launched, in which competition assignments for schoolchildren were published. This was the first correspondence Olympiad. And that was the start.

In December 1911, the First All-Russian Congress of Mathematics Teachers was held in St. Petersburg, which brought together teachers



Niccolo Fontana Tartaglia (1499/1500–1557), Italian mathematician. He translated Euclid's «Elements» into Italian and commented on them. [Electronic resource]: https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/432699/Skandal_davno_minuvshikh_dney. Last accessed 18.09.2020.

from all provinces and professors from major universities (1217 participants). The problems of teaching mathematics and the idea of competition in it were vividly discussed at the congress [7].

In 1922, a student at Moscow State University, an aspiring mathematician, 19-year-old Andrey Kolmogorov began working as a teacher at Potylikh Experimental School of the People's Commissariat for Education in Moscow. A very curious fact is that this experimental school partly repeated the famous New York school of Dalton (it was «immortalized» by Woody Allen in the film «Manhattan»). In the Dalton plan, it is declared: «*for successful learning you need freedom, independence, cooperation*» [8].

The Dalton plan, according to which they worked at the school where student Kolmogorov taught physics and mathematics, provided for an individual work plan for each student. The child independently drew up a training program for a month. «*Each student spent most of his school time at his table, went to ... libraries to take out the book he needed, wrote something*», Kolmogorov recalled in his last interview. «*And the teacher was sitting in the corner, reading, and the students came up one by one and showed what they had done*». This picture – a teacher sitting silently in the corner – decades later can be seen in the classroom of mathematical circles [9].





Andrey Nikolaevich Kolmogorov (nee Kataev) (1903–1987) – Russian and Soviet mathematician, one of the greatest mathematicians of XX century. One of the founders of modern probability theory. [Electronic resource]: <https://interesnyefakty.org/andrej-kolmogorov/>. Last accessed 18.09.2020.

However, a school with such a relaxed creative atmosphere simply could not exist in the USSR for a long time. And in the 1930s, the Dalton Plan was condemned and banned.

Mathematics, classical music, poetry, playing sports and exchanging ideas with friends – this is the image of an ideal person and an ideal school according to Kolmogorov. At about forty years of age, he drew up *«A Concrete Plan of How to Become a Great Man, if There is Enough Desire and Diligence»*. By the time he was 60, Kolmogorov had to stop scientific work and devote his life entirely to teaching in high school. And he lived according to this plan [9].

The decisions of that very congress of mathematics teachers were only implemented in the Soviet Union, when in 1933 the famous St. Petersburg mathematician Boris Delone proposed a new system of working with children. This system was based on math circles at schools and houses of pioneers. At the end of each academic year, final Olympiads were to be held, which determined the winners.

It is curious that these first Olympiads were not divided by age and all schoolchildren solved the same tasks. The winners of the first St. Petersburg Mathematical Olympiad received leather briefcases with the inscription in gold

letters: *«There is no royal road to science, and only those who do not dread the fatiguing climb of its steep paths have a chance of gaining its lumin»* (K. Marx). Also, the winners were given the right to be enrolled without exams for the chosen physics and mathematics specialty of Leningrad University [10].

The special appeal of the mathematical Olympiads is that even primary school students can take part in them, and the organizers can find «their student» much earlier.

The author of the book *«Intricate Problems»* Boris Kordemsky writes: *«Any task of quick wits is fraught with zest, its own uniqueness, even if it belongs to a certain type of problem. It is a so-called «tough nut», which is not so easy to bite, but all the more tempting»* [11, p. 6].

In 1935, the mathematical Olympiads also reached the capital, which «by chance» coincided with the move to the capital of Boris Delone. Already in the spring the great Kolmogorov and Aleksandrov organized in Moscow the first mathematical Olympiad for children, which was held with the assistance of Moscow Mathematical Society. The experience of our Leningrad colleagues turned out to be very useful. At the end of February, an announcement about the Olympiad and samples of tasks for preparation were distributed to schools. The competition was traditionally held in two rounds. More than 300 applications were submitted for the first round, and not only from schoolchildren. In the Olympiad, both workers' faculty and students of evening schools decided to try themselves. The youngest mathematician was 14, the oldest was 29. The assignments, as was customary everywhere, did not go beyond the school curriculum.

The second round was planned for the summer and 131 people were allowed to participate. Moreover, all the guys who coped with the first round were invited to lectures by the most prominent Soviet mathematicians: Pavel Sergeevich Alexandrov, Nil Alexandrovich Glagolev, Andrey Nikolaevich Kolmogorov, Alexander Gennadievich Kurosh. Igor Zverev, Nikolay Korobov and Anna Myshkis became the winners of that first Olympiad. Subsequently, they entered the Faculty of Mechanics and Mathematics at Moscow State University, from there they were drafted to war: Anna died in 1943, Igor and Nikolay returned and taught at the Faculty of Mechanics and Mathematics [12].



Railway seven-year school № 2. Pupils at work in a carpentry workshop. Late 1920s–early 1930s. [Electronic resource]: russiainphoto.ru/. Last accessed 18.09.2020.

The Moscow Olympiads were not held from 1942 to 1944. But this does not mean that they were not held at all – the competitions, like people, were also «evacuated»: to Ashgabat and Kazan. But immediately after the end of the war, they returned to Moscow. Around this time, the Olympiads were held in Tbilisi and Kiev. Since 1947 – in Vologda, Ivanov, Irkutsk, Smolensk; from 1949 – in Saratov; since 1950 – in Belarus and a number of other republics of the USSR [12, pp. 5–17; 16, pp. 3–20].

In 1961, the first All-Russian Olympiad in Mathematics was held. In 1964, the Joint Olympiad Committee began its work, chaired by Academician Pyotr Kapitsa. A year later, this post was taken by the experimental physicist Isaak Konstantinovich Kikoin. It was he, together with Kolmogorov, who founded the famous mathematics boarding school at Moscow State University (now the Kolmogorov specialised training and research centre) and became the first editor-in-chief of the famous «Quantum», which was used by all children

keen on mathematics, it was he who achieved benefits for the winners of the Olympiads regarding admission to universities.

In 1967, the Ministry of Education and Science of the RSFSR was transformed into a union ministry and the Olympiads received the status of all-union (since 1992 – again all-Russian). Accordingly, from this year, All-Union Olympiads in mathematics, physics and chemistry began to be held. The first All-Union Olympiad was held in Tbilisi. The system of intellectual competitions at this moment developed very rapidly: more and more correspondence competitions appeared, schools with in-depth study of subjects were opened, summer schools were organized (including the school in the famous «Orlyonok» youth summer camp).

In the 1980s, an evening mathematical school appeared at Moscow State University of Railway Engineering (MIIT). It is known that already in the 1970s, the teachers of Moscow Institute of Transport Engineers took an active part in conducting mathematical





Boris Nikolaevich Delone (1890–1980). [Electronic resource]: <https://risk.ru/u/img/154/153981.jpg/>. Last accessed 18.09.2020.

Olympiads and creating Olympiad problems. Over time, mathematical Olympiads began to appear, conducted by individual institutes. This is how MPTI came up with their own system of physics and mathematics Olympiads. Students, graduate students and teachers, leaving on vacation, held the Olympiad in their hometowns. Then all the work was taken to Moscow and checked.

Obviously, not all prize-winners of mathematical Olympiads have become or are becoming major mathematicians and choose the «queen of sciences» as the work of their entire life, but most famous scientists made their first steps into science at the Olympiads. Among them, for example, three Soviet mathematicians of different generations, each of whom became famous for solving one of the «Hilbert problems» posed at the turn of 19–20th centuries – V. I. Arnold, Yu. I. Matiyasevich, V. M. Kharlamov.

Soviet schoolchildren began to participate in the international mathematical Olympiads starting from the very first one held in 1959 in Romania, where they got only sixth place in the team classification, and then were suspended for the next two years. During the

second attempt in Prague in 1962 the Soviet Union ranked first. Until 1991, our team dropped below third place only three times.

Since 1967, Great Britain, Sweden, Italy, France began to participate in the International Mathematical Olympiad, and the number of participating countries was growing and has attained more than 100 states.

As in any Olympic movement, the main thing here is not victory, but participation «for the sake of strengthening friendship and future cooperation in the international scientific community». Although medals of various denominations are awarded to the winners who obtain best personal scores. But the most important are the unofficial results of the team championship. Nobody canceled it. These totals are always tacitly calculated and serve as the best indicator of scientific potential in «big three» of sciences: mathematics, physics and chemistry.

In the middle of the last century, mathematics was so popular that it practically became a mass profession. And the Olympiads of all levels played an important role in this process. At the 15th Mathematical Congress (Moscow, 1966), it was announced about «solving the problem of describing all convex three-dimensional polyhedra, whose faces are arbitrary regular polygons». This was the work of 12 schoolchildren of the 11th grade of Leningrad school No. 239 [13]. At the end of the 1970s, one of the greatest mathematicians of 20th century, Grigory Perelman, taught at that school. Pupils of this school continued to win at city, all-Union and international Olympiads.

From 1962 to 1991 the Soviet Union permanently lead at the Olympiads in mathematics (14 first places, 5 second and 3 third). The United States made the strong competence (participating from 1974 the USA had got three first places, four second places, and four third places until 1991). With the appearance of schoolchildren from China in 1985 on the Olympic horizon, everything changed. China started from 32nd place in the team competition, but three years later, in 1988, it became the first. In the last 35 Olympiads, the Chinese team has become the first 21 times, eight times it came at the second place, and twice at the third place.

Since 1991 Russia only twice became the first, eight times the second and five times the

third. That is, for the past thirty years, the PRC has been the undisputed leader, followed by the United States with a large margin, and the Russian Federation is behind the Americans by an even greater margin.

The last years have been the most disastrous for us. In 2015 – eighth place, in 2016 – seventh, in 2017 – eleventh, in 2019 – sixth place, ahead of us were teams from China, the United States, North Korea, South Korea and Thailand. The last, 61st International Mathematical Olympiad was held in St. Petersburg in September this year. This was the first Olympiad to be held remotely. The team from Russia took second place. The national team of China was the first, and the national team of the United States got the third place.

In international physics Olympiads, the situation is similar: during 20 Olympiads of the Soviet period, we took the first team place 11 times, the second 3 times and the third place 4 times. But after China has appeared in stage, in 1990, we shared the first place, and later on, Chinese schoolchildren became winners in the team classification 21 times. Russia during these years was the first three times. Also, the unofficial championship was won twice by Taiwan, twice by Iran and once by the United States.

The picture at the chemistry Olympiad is about the same, with only one difference: the whole podium is occupied by the representatives of the Southeast Asian region.

The Russian team has the consolation status of «one of the favorites». We have more than three dozen gold medals in the individual standings. The usual «collective» three winners are China, Korea and Taiwan. Sometimes they change places [14].

The experience of conducting mathematical Olympiads in the USA is of interest also. Most of the competitions are paid (about \$50 for participation). The Olympiads themselves can be divided into three types: «test» Olympiads, where you have to solve about 20 problems with a choice of answer options. These include:

- Washington State Math Championship;
- Michigan Mathematics Prize Competition;
- New York City interscholastic mathematics league;
- Snow College Mathematics Contest;
- Knights of Pi Math Tournament (Grades 5–8);
- Math is Cool.

«Classic» Olympiads – several difficult problems and a lot of time to solve. These include:

- Utah Math Olympiad;
- United States of America Mathematical Olympiad (USAMO).

We should also mention Canadian Mathematical Olympiad (CMO).

And then there is the annual USA Mathematical Talent Search (USAMTS) Olympiad. It goes through several stages throughout the year. A month is given to solve problems of a stage (as a rule, rather complex, creative and research ones).

Successful participants in this Olympiad have no problems with admission (and receiving an impressive discount) to the most prestigious universities in the USA and Canada. In all American Olympiads, there is no strict rule that complexity of tasks must exactly match the school curriculum.

The USA also hosts the Math Prize for Girls, an annual math Olympiad for girls only. It has been held since 2009. Future «Sofya Kovalevskaya» is offered 20 problems and 2,5 hours to solve. The problems are not easy – to solve them, you have to love mathematics very much. Naturally, the winners are awarded expensive jewelry and large cash prizes.

There is also a math Olympiad for girls in China, which has been held since 2002. This Olympiad is distinguished by a very difficult level of problems, quite at the level of the International Olympiad.

There are a lot of mathematical schools in China and there is a clear selection system. The famous Chinese hard work also plays an important role in development of any science. It is customary for Chinese students and schoolchildren to study a lot and hard.

The main mathematics competitions in Germany are the National Olympiad and the Federal Mathematics Competition. Moreover, it started in the GDR in 1961.

The so-called «Games of Archimedes» are held in Italy. The winner of these games will be eligible for admission to Roma Tre University. Holders of the second and third places are entitled to a 50 % discount on tuition at that university. Besides that National Olympiad in Mathematics (the winners of which then take part in the International Mathematical Olympiad), the Italian National Mathematical Marathon is held as well. This marathon



(Maratona Nazionale di Matematica) is held strictly among the students of the terza media [15].

Leading universities in our country have always looked for ways to attract the brightest students to their walls. Russian University of Transport (RUT) was no exception [16, pp. 142–147; 5, pp. 163–165; 17, pp. 120–124]. Regarding popularization of engineering professions, search for talents for transport education, mathematical competence is an essential requirement. It is almost impossible to delineate the role of mathematics in practical engineering fields.

Surprisingly, mathematics in modern realities is met so often that, one might say, it has become familiar. In the professions in which it is used, logic, precision and calculation are important. Any field of activity, no matter how precise, creative or abstract it is, always in its essence contains the simplest thing – the mechanism of action, that which can be decomposed into mathematical formulas. Therefore, mathematics is the skeleton of any process. Mathematics surrounds us everywhere. Soloing or in symbiosis with other sciences, it forms the foundation for everything new. It can help solve the most complex technical problems in development of a vehicle based on mathematical models that allow you to simulate engines, locomotives, reactors or airplanes. Predictions of, for example, the behavior of the vehicle body on impact or the effects of air turbulence on aircraft wings can be computed. Or, for example, in order to develop efficient control systems for railway vehicles, the mathematicians build the electric drive components of the locomotive on a smaller scale. In addition to such electromechanical models, a mathematical model can be created that describes the dynamics of the system through equations. This allows us to simulate the entire system, for example, to predict how changes in parameters will affect that system.

RUT Regional Mathematical Olympiad celebrates its 20th anniversary this year. Since 2009, it has become known as the «Sails of Hope». The geography of this Olympiad is impressive. Over the years, it was held in Belgorod, Vorkuta, Vladivostok, Yekaterinburg, Yelets, Zheleznogorsk, Irkutsk, Kazan,

Karasuk, Kursk, Lgov, Labytnang, Lipetsk, Nizhny Novgorod, Omsk, Rostov-on-Don, Michurinsk, Samara, St. Petersburg, Sochi, Khabarovsk.

In Moscow, the Olympiad was always held in two days, since it was impossible to accommodate everyone during a single day. In Russia, the number of participants in the final stage reached two to three thousand.

Over the years, a large team of authors worked on creation of the problems of the Mathematical Olympiad: M. N. Arshinov, V. S. Antonenko, A. I. Gusev, V. N. Desnyansky, V. B. Minasyan, A. S. Milevsky, V. M. Safo, V. Kh. Khakhanyan.

There are special requirements for the Olympiad problems. They should be beautiful, bright, diverse both in content and in the ideas underlying their solution. Moreover, their decisions, as usual, should not go beyond the school curriculum.

Among the proposed problems, of course, there were problems, the solution of which required fluency in school knowledge of mathematics. But there were also problems, the solution of which required a certain amount of ingenuity and the ability to look at the problem from an unexpected angle.

Let me give you an example of such a task.

Four sheets of paper were taken. Some of these sheets were cut into 4 pieces. Then some of the quarters were cut into 4 pieces again, and so on. When counting all the pieces received, it turned out 2016. Prove that the counting was done incorrectly.

To solve this problem, it is enough to notice that when one sheet is cut, the total number of parts increases by 3. If the counting was done correctly, then the difference between the total number of pieces and the four initial pieces would be a multiple of three. But $2016 - 4 = 2012$, and is not divisible by three.

After reading the solution to the problem, you might think that the problem is too easy. I dare to assure you that a very small number of participants in the Olympiad coped with its solution.

Since 2009, a joint interuniversity Olympiad in mathematics has been held. RUT from the very beginning of this Olympiad has been one of the venues for its holding. University teachers actively cooperate with the organizing committee of the Olympiad, participate in development of Olympiad problems.

In 2016, RUT decided to create another mathematical Olympiad in honour of the outstanding Soviet mathematician, author of

textbooks, prose writer, D.Sc. (Eng), professor Elena Sergeevna Ventzel.

Elena Ventzel is a prominent scientist who has worked at our university for many years, the author of fundamental works on probability theory and operations research. Elena Sergeevna is also known to many under the pseudonym of Irina Grekova, the author of the sensational novels of the time: «The Chair», «The Ship of Widows», «The Turning Point», etc.

Of course, now there are not so many participants in the Mathematical Olympiads. But interest in Russian University of Transport is great. And now in many cities of Russia schoolchildren take part in the mathematical Olympiad «Sails of Hope» and link their future with Russian University of Transport. And the communication of teachers working in schools with leading university teachers has always been in demand and is in demand now [17, pp. 254–258].

I would like to once again recall the organizer of the first St. Petersburg Olympiad for schoolchildren, Corresponding Member of the USSR Academy of Sciences Boris Delone. He was a very gifted person in completely different and, it seemed, rather incompatible fields: a mathematician, one of the first aircraft designers in Russia and a glider pilot, a famous mountaineer in the country... According to the memoirs of students during his lectures at Leningrad State University, Boris Nikolaevich often «demonstrated» a headstand at the table, then jumped down and said: «Well, let's continue»...

Any Olympiad in the life of each participant is just a bright but short episode. After this «headstand» there will be a «normal adult» life, like everyone else has, or almost like everyone else. But Olympiads are very important, especially important for future researchers and engineers. Today in Russia there are about eight hundred Olympiads. Therefore, every student can find something important and interesting for himself, regardless of age, talents and hobbies.

About half of the participants in the «high» Olympiads become «pure» mathematicians. And this happens not only with the Russian participants. Roughly the same indicators are in other countries where the Olympic movement is developed. The rest go to «related» professions: someone becomes a programmer, someone becomes an analyst in a bank, someone masters the profession of an engineer...

In these areas, you also need to think well. And mathematics is very conducive to this!

REFERENCES

1. Depman, I. Ya. History of arithmetic [*Istoriya arifmetiki*]. Moscow, Prosveshchenie publ., 1965, 416 p.
2. Archimedes. [Electronic resource]: https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/434859/Arkhimed. Last accessed 30.11.2020.
3. The scandal of bygone days [*Skandal davno minuvshikh dnei*]. [Electronic resource]: https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/432699/Skandal_davno_minuvshikh_dney. Last accessed 30.11.2020.
4. «They recognize the lion by the claws» [*Po kogtyam uznayut lva*]. [Electronic resource]: <https://math.wikireading.ru/2327>. Last accessed 30.11.2020.
5. Jacques Solomon Hadamard. [Electronic resource]: <http://math4school.ru/adamar.html>. Last accessed 30.11.2020.
6. Vasiliev, N. B., Egorov, A. A. Problems of All-Union Mathematical Olympiads [*Zadachi Vsesoyuznykh matematicheskikh olimpiad*]. Moscow, Nauka publ., 1988, 288 p.
7. Proceedings of I All-Russian Congress of Mathematics Teachers [*Trudy I Vserossiiskogo s'ezda prepodavatelei matematiki*]. 1913, Vol. 1. [Electronic resource]: https://www.mathedu.ru/text/trudy_I_vserossiiskogo_syezda_prepodavateley_matematiki_t1_1913/p0/. Last accessed 30.11.2020.
8. Three steps toward a beginning: a welcome from the Head of School. [Electronic resource]: <https://www.dalton.org/about>. Last accessed 30.11.2020.
9. The last interview of A. N. Kolmogorov [*Poslednee interview A. N. Kolmogorova*]. [Electronic resource]: <http://vivovoco.astronet.ru/vv/papers/bio/kolmogor/last.htm>. Last accessed 30.11.2020.
10. Sharov, A. S. Russian Delone in legends, memoirs and documents [*Rossiiskie Delone v legendakh, vospominaniyakh i dokumentakh*]. Moscow, Kosmosinform publ., 1998, 108 p.
11. Kordemsky, B. A. Intricate problems [*Zateinie zadachi*]. St. Petersburg, LLC Trading and publishing house Amfora, 2015, 223 p.
12. Galperin, G. A., Tolpygo, A. K. Moscow Mathematical Olympiads [*Moskovskie matematicheskie olimpiady*]. Moscow, Prosveshchenie publ., 1986, 303 p.
13. Zalgaller, V. A. Convex polyhedra with regular edges [*Vypuklie mnogogranniki s pravilnymi granyami*]. *Zapiski nauchnykh seminarov LOMI im. V. A. Steklova of the USSR Academy of Sciences*, Vol. 2. Moscow, Nauka publ., 1967, 211 p.
14. International Mathematical Olympiad. [Electronic resource]: <https://www.imo-official.org/results.aspx>. Last accessed 30.11.2020.
15. List of mathematics competitions. [Electronic resource]: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_mathematics_competitions. Last accessed 30.11.2020.
16. Vinogradov, V. V., Kochneva, L. F., Platonova, O. A. On improving the quality of mathematical knowledge. *World of Transport and Transportation*, 2014, Vol. 12, Iss. 4, pp. 142–147. [Electronic resource]: <https://mirt.elpub.ru/jour/article/view/127>. Last accessed 30.11.2020.
17. Platonova, O. A., Dmitriyenko, N. S., Pugina, L. V. On the mathematical training of future engineers [*O matematicheskoi podgotovke budushchikh inzhenerov*]. *Proceedings of 13th International Scientific and Practical Internet Conference «Teacher of Higher Education in 21st Century»*. Rostov-on-Don, Rostov State Transport University, 2016, Coll. 13, pp. 120–124. [Electronic resource]: <http://www.t21.rgups.ru/upload/files/konferenciya%20rostov%20doklad%202016-2016-04-13-09-01-17.doc>. Last accessed 30.11.2020.





Техническое обслуживание малоинтенсивных железных дорог в современных условиях



Николай КОВАЛЕНКО



Нина КОВАЛЕНКО

*Коваленко Николай Иванович – Российский университет транспорта, Москва, Россия.
Коваленко Нина Александровна – Российский университет транспорта, Москва, Россия*.*

Статья посвящена структуре технического обслуживания малоинтенсивных железных дорог за счёт уточнения эксплуатационного штата по содержанию инфраструктуры на примере Микуньской дистанции инфраструктуры Северной Дирекции инфраструктуры. Примером дистанции по эксплуатации инфраструктуры в статье рассматривается Берлинская дистанция инфраструктуры железных дорог Германии. Рассмотрена постановка задачи по организации деятельности инфраструктурного линейного предприятия путевого комплекса, включающего работников дистанции пути (ПЧ), персонал по обслу-

живанию сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ), работающих по системе укрупнённых бригад и бригад по неотложным работам, оснащённых путеремонтными летучками, хозяйственными поездами и автомобилями КамАЗ. Для анализа информационной неопределённости предлагается информационная модель, для которой риск рассматривается в виде определения потерь. На стадии предварительных расчётов изменение численности обслуживающего персонала позволит получить сокращение эксплуатационных расходов на полигоне МЖЛ за счёт экономии фонда заработной платы.

Ключевые слова: малоинтенсивные железнодорожные линии (МЖЛ), укрупнённый участок, техническое обслуживание, инфраструктурные линейные предприятия, путевой комплекс, работники ПЧ, персонал СЦБ и связи, укрупнённая бригада, путеремонтная летучка, бригада по неотложным работам, хозяйственный поезд, автомобиль КамАЗ, информационная неопределённость, цена риска.

*Информация об авторах:

Коваленко Николай Иванович – доктор технических наук, профессор Российского университета транспорта, Москва, Россия, kni50@mail.ru.

Коваленко Нина Александровна – кандидат технических наук, доцент Российского университета транспорта, Москва, Россия, nina-alex-kov@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 01.12.2019, актуализирована 16.02.2020, принята к публикации 19.04.2020.

For the English text of the article please see p. 196.

ВВЕДЕНИЕ

Сокращение расходов (цель статьи — найти такое решение) по основным видам деятельности, в первую очередь, малоинтенсивных линий (далее — МЖЛ) возможно за счёт изменения организационной структуры линейных предприятий по техническому обслуживанию железнодорожного пути и всей взаимосвязанной инфраструктуры. В качестве дальнейшего такого совершенствования в ОАО «РЖД» рассматривается создание инфраструктурных линейных предприятий (далее — ИЧЛ), объединяющих деятельность работников по обслуживанию пути (далее — работники ПЧ), персонал по содержанию устройств сигнализации, централизации блокировки (далее — персонал СЦБ и связи) и специалистов энергетиков (далее — специалистов ЭЧ) [1].

Имеющимся отечественным и зарубежным опытом текущего содержания железнодорожных линий инфраструктурными линейными предприятиями (ИЧЛ) отмечается различие участков по характеру перевозок. Аналогичные различия отмечаются и в зарубежной практике [2–4].

Анализом зарубежного опыта эксплуатации малоинтенсивных железнодорожных линий установлены следующие характеристики таких линий [5–8]:

- наличие одного или, как исключение, двух главных путей на перегонах;
- в качестве раздельных пунктов эксплуатируются разъезды с количеством путей не более трёх;
- на большинстве раздельных пунктов практически отсутствует грузовая и маневровая работа.

Примером дистанции по эксплуатации инфраструктуры может служить Берлинская дистанция инфраструктуры железных дорог Германии [9], обслуживающая 100 км развёрнутой длины безбалластного железнодорожного пути, на которой осуществляется высокоскоростное пассажирское движение. Обслуживающий персонал дистанции включает 250 работников СЦБ и связи, 100 специалистов-работников путевого хозяйства и 100 специалистов энергетиков.

В обязанности дистанции входит надзор за путём, искусственными сооруже-

ниями, стрелочными переводами и устранение мелких неисправностей, возникающих при эксплуатации.

Для таких участков пути неисправности, обнаруженные диагностическими средствами, должны быть устранены в течение шести недель. В случае излома рельсов они берутся в накладки с зажимом струбцинами и устанавливается скорость движения с ограничением 120 км/час. На следующий день дефектное место вырезается работниками дистанции инфраструктуры и устанавливается рельсовая рубка. Как временная мера, подрядной организацией может производиться алюминотермитная сварка рельсовой рубки при температуре окружающего воздуха и влажности, которые соответствуют техническим условиям. В дальнейшем для постоянной эксплуатации пути, в процессе выполнения планово-предупредительных работ, данная рельсовая рубка заменяется на рельсовую вставку, сваренную электроконтактным способом.

Производство всех работ на пути по замене элементов верхнего строения пути производится в России подрядными организациями, выигравшими конкурс на выполнение работ [10].

Одной из основных проблем на сети железных дорог ОАО «РЖД» при применении участкового метода текущего содержания пути является несвоевременная доставка рабочей силы, механизмов и оборудования к месту производства работ и возвращение на базы дислокации. Аналогичная проблема отмечается и зарубежными исследователями [2; 5–9].

Ориентируясь на положительный международный опыт технического обслуживания железнодорожных линий инфраструктурными линейными предприятиями, руководством ОАО «РЖД» на протяжении последних 8–10 лет рассматривается возможность использования аналогичных Германии и других стран структурных подразделений для ОАО «РЖД» [11–14].

Первая опытная ИЧЛ была сформирована в 2014 году на базе Сочинской дистанции пути Северокавказской дирекции инфраструктуры. Данная ИЧЛ объ-



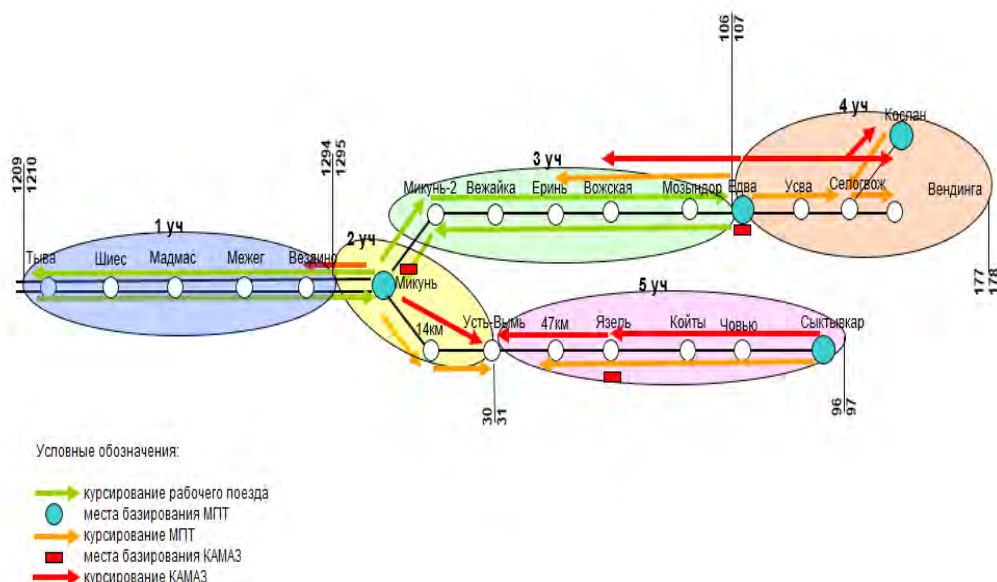


Рис. 1. Схема доставки рабочей силы, механизмов и инструментов по Микуньскому инфраструктурному линейному предприятию.

единила работников ПЧ, персонал СЦБ и связи и специалистов-энергетиков, которые регионально располагались в одном месте. Сочинская ИЧЛ имела хорошие положительные результаты работы. В настоящее время в составе Сочинской ИЧЛ объединены работники ПЧ и персонал СЦБ и связи.

Ориентируясь на полученный положительный опыт работы Сочинской ИЧЛ, руководством ОАО «РЖД» решается задача по организации аналогичных структурных подразделений на территориях всех 16 региональных Дирекций инфраструктуры-филиалов ОАО «РЖД» (далее — ДИ).

В частности, на территории Северной ДИ в 2016 году организована Микуньская дистанция инфраструктуры (далее — Микуньская ИЧЛ).

Отличительной особенностью Микуньской ИЧЛ является включение в состав ИЧЛ работников ПЧ и персонал СЦБ и связи, за исключением специалистов энергетиков. В первую очередь такое объединение вызвано спецификой Микуньской ИЧЛ, которая предназначена для обслуживания малоинтенсивных линий железнодорожного пути общего пользования с невысокой грузонапряжённостью и низкой эффективностью

работы, характерных для данного полигона Северной дирекции инфраструктуры.

Другой особенностью обслуживания данного полигона Микуньской ИЧЛ является применение тепловозной тяги. Дополнительно это также отразилось на решении не включать в состав данной ИЧЛ специалистов-энергетиков.

Сформированная Микуньская ИЧЛ имеет пять эксплуатационных участков (рис. 1).

Организация пяти участков на Микуньской ИЧЛ вызвана удобством организации доставки рабочей силы, механизмов и инструмента.

Общая штатная численность работников Микуньской ИЧЛ составляет порядка 280 человек, из них 63 % приходится на рабочие специальности, среди которых работники ПЧ составляют 75,5 %, персонал СЦБ и связи — 24,5 %.

Установленная численность работников ИЧЛ вызвана значительными масштабами полигона обслуживания железнодорожных линий (рис. 1). Например, однопутная линия в направлении станции Вендинга имеет протяжённость более 176 км, однопутная линия в направлении станции Сыктывкар имеет длину более 95 км и протяжённость двухпутных линий

в направлении станции Тыва составляет более 99 км.

Особенностью организации доставки рабочей силы на первом, втором и третьем эксплуатационных участках пути (рис. 1) является использование рабочего поезда, доставляющего бригады численностью 62, 13 и 20 работников, соответственно, к месту производства работ и обратно к местам дислокации.

Для оптимизации времени транспортировки и сокращения затрат по доставке на удалённых участках полигона (второй, четвёртый и пятый участки) расположены места базирования грузовых автомобилей типа КамАЗ (рис. 1).

Данным видом транспорта по эксплуатационным участкам выполняется перемещение следующего количества работников: от станции Микунь – 24 человека; станции Едва – 27 человек и станции Язель – 10 человек. Для удобства транспортировки механизмов, оборудования, материалов верхнего строения пути используются транспортные путевые тележки (ТПТ-4).

Предложенный вариант численности персонала ИЧЛ позволяет сократить обслуживающий персонал, например, на полигоне МЖЛ, общей протяжённостью порядка 1217 км, ориентировочно на 18÷20 человек.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для анализа информационной неопределённости (P_{ick}): например, несвоевременности доставки рабочей силы, задержек в доставке механизмов или материалов и так далее — предлагается информационная модель, для которой риск рассматривается как возможность определения потерь (P), например, времени доставки или неопределённости времени начала (окончания) рабочих операций на участке полигона (L), возникающий вследствие принятия различных управляющих решений в условиях неопределённости [15].

Кроме того, при оценке риска рекомендуется учитывать индивидуальную толерантность к риску (J), которая описывается кривыми индифферентности или полезности. Таким образом, для описания риска можно использовать

перечисленные три параметра, формула (1):

$$\mathbf{P}_{isk} = \{P; L; J\}. \quad (1)$$

При проведении сравнительного анализа всех вышеназванных критериев риска выявлены достоинства и недостатки их практического применения. На основе проведённого анализа предлагается обобщённый критерий — «цена риска» (C_{risk}), который характеризует величину условных потерь, возможных при реализации управленческого решения, которые определяются в соответствии с [16]:

$$C_{risk} = \{Z; P\}, \quad (2)$$

где Z определяется как сумма прямых потерь от управленческого решения.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для определения цены риска используются такие показатели, которые учитывают обе координаты «вектора»: дисперсия, среднеквадратическое отклонение, коэффициент вариации и так далее. Предлагается уточнённое определение риска исследуемого проекта (*IP*).

Риск $IP (R_{IP})$ – это система факторов, проявляющаяся в виде комплекса рисков, индивидуальных для каждого участника IP как в количественном, так и в качественном отношении, формулы (3):

$$R_{IP} = \begin{bmatrix} R_{11}, R_{12}, R_{13}, R_{14}, \dots, R_{1n} \\ R_{21}, R_{22}, R_{23}, R_{24}, \dots, R_{2n} \\ \vdots \\ R_{m1}, R_{m2}, R_{m3}, R_{m4}, \dots, R_{mn} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где n – возможное количество рисков IP ;
 m – количество участников производ-
 ственного процесса.

Акцент в определении рисков состоит в том, что риск IP представляет собой сложную систему с многочисленными взаимосвязями, проявляющимися для каждого из участников IP в виде индивидуальной комбинации – комплекса, то есть риск i -го участника производственного процесса (R_i) будет описан в виде формулы (4):



$$R_i = \{R_{i1}, R_{i2}, R_{i3}, R_{i4}, \dots, R_{in}\}. \quad (4)$$

Столбец матрицы (3) при этом показывает, что значение любого риска для каждого участника производственного процесса проявляется также индивидуально.

Данный подход служит основой алгоритма риск-менеджмента. Он позволяет рассматривать развитие инструментов количественного анализа *IP*. Для решения задач этого этапа разработан адекватный, усовершенствованный инструментарий.

В частности, разработан инструментарий портфельного анализа производственного процесса, где предлагается использовать теорию портфеля для решения задач инвестиционного проектирования для прогнозирования эффективности организации производственных процессов, к которым следует отнести организацию деятельности ИЧЛ.

Например, расчёт ставки дисконтирования при определении критериев эффективности *IP*. Для расчёта ставки дисконтирования используем модель, представляющую собой синтез модели (CAPM – Capital Asset Pricing Model) и кумулятивного подхода:

$$r = r_c + b(r_n - r_c), \quad (5)$$

где r_c – безрисковая ставка дохода;

r_n – рыночная ставка;

b – коэффициент риска, определяется по формуле (6).

Преимущество предлагаемого метода заключается в том, что он сочетает достоинства обеих моделей. Особенностью метода является расчёт коэффициента риска – b :

$$b = \frac{Cov(F_1, r)}{Var(r)} \cdot b_1 + \frac{Cov(F_2, r)}{Var(r)} \cdot b_2 + \dots + \frac{Cov(F_n, r)}{Var(r)} \cdot b_n. \quad (6)$$

Кроме того, для комплексной оценки инновационных проектов на железнодорожном транспорте [17], выявлена необходимость учёта пространственных отношений, что, в свою очередь, требует применения методов геоинформатики и цифровизации [18; 19].

ОБСУЖДЕНИЕ

На стадии предварительных расчётов (формула 7) изменение численности об-

служивающего персонала позволит получить сокращение эксплуатационных расходов на полигоне МЖЛ Северной Дирекции инфраструктуры.

Ориентировочно, в масштабах сети ОАО «РЖД» на полигоне МЖЛ экономия фонда заработной платы может быть получена в размере порядка 180÷200 млн рублей в год.

$$E_{MGL} = H_{NORM} \cdot L_{YCH} \cdot Z_{GOD} \cdot K_{TEK}, \text{ руб.}, \quad (7)$$

где E_{MGL} – экономическая эффективность мероприятий по оптимизации расходов и затрат малоинтенсивных участков железнодорожных линий, руб.;

H_{NORM} – нормируемая численность монтеров пути на текущем содержании первого км пути МЖЛ, определяемая в соответствии с «Нормативами численности работников, занятых на текущем содержании железнодорожного пути», утверждёнными распоряжением ОАО «РЖД» от 26.12.2016 г. № 2667р, и «Пооперационными нормами расхода материалов на текущее содержание железнодорожного пути», утверждёнными распоряжением ОАО «РЖД» от 15.04.2015 г. № 978р, человек/км;

L_{YCH} – длина рассматриваемого участка пути, км;

Z_{GOD} – среднегодовая заработная плата монтера пути, руб.;

$$K_{TEK} = (1 \pm \sum_{i=1}^n \delta_{YCH}) - \text{коэффициент, отражающий современный уровень техниче-}$$

ского состояния данного участка МЖЛ, современные особенности его эксплуатации, современные организационные особенности осуществления технического обслуживания пути и инфраструктуры и другие особенности эксплуатации данного участка МЖЛ;

$$\sum_{i=1}^n \delta_{YCH} - \text{процент (доля единицы) сни-}$$

жения (увеличения) численности обслуживающего персонала для выполнения технического обслуживания пути и инфраструктуры и другие факторы эксплуатации данного участка МЖЛ;

$i = 1, \dots, n$ – перечень различных особенностей эксплуатации участка МЖЛ, влияющих на численность его обслуживающего

персонала для выполнения технического обслуживания пути и инфраструктуры.

ВЫВОДЫ

Рассмотренные, на предварительной стадии, организационные особенности инфраструктурных линейных предприятий путевого хозяйства на примере Микуньской ИЧЛ, позволяют сделать вывод о целесообразности аналогичных структурных подразделений для оптимизации управления деятельностью линейных предприятий ОАО «РЖД».

В дальнейшем необходимо выполнить технико-экономическую оценку их деятельности для уточнения оптимальных границ полигона обслуживания аналогичными подразделениями, а также определить численность штатов производственного персонала и его персонификацию по техническому обслуживанию инфраструктуры путевого комплекса железнодорожного пути.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юшков М. Е. Организация использования инфраструктуры малодеятельных железнодорожных линий на основе интегральной оценки их деятельности / Дис... канд. техн. наук. — Екатеринбург, УРГУПС, 2014. — 163 с. [Электронный ресурс]: <https://www.usurt.ru/download-document/2500>. Доступ 19.04.2020.

2. Chudzkiwicz, A. Simulation evaluation of the costs of adapting the low density traffic line to practical exploitation. *Procedia — Social and Behavioral Sciences*, 2011, Vol. 20, pp. 244–250. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.org/article/n/523800.pdf>. Доступ 19.04.2020.

3. Кириленко О. Н. Экономическая эффективность методов эксплуатации малодеятельных линий // Экономика железных дорог. — 2014 — № 8. — С. 79–85. [Электронный ресурс]: https://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/16945/1/Статья_Кириленко_Россия.doc. Доступ 19.04.2020.

4. Глушенко В. А. Комплексные бригады на малодеятельных участках [Южно-Уральской дороги] // Путь и путевое хозяйство. — 2010. — № 1. — С. 24–25. [Электронный ресурс]: <http://scbist.com/xx1/12276-zhurnal-puti-p-h-kompleksnye-brigady-na-malodeyatelnih-uchastkah-print.html>. Доступ 19.04.2020.

5. Вакуленко С. П., Колин А. В., Евреенова Н. Ю. Малодеятельные линии: состояние и варианты оптимизации // Мир транспорта. — 2017. — Т. 15. — № 3. — С. 174–180.

6. Zamyshlyayev, A. M., Akopyan, A., Mikhalkin, I. K., Gapanovitch, V., Shubinsky, I. B. «Urran» — entwicklung von rams bei den russischen eisenbahnen. *Der Eisenbahningenieur: Fachzeitschrift fuer Eisenbahntechnik*, 2014, Vol. 65, Iss. 1, pp. 50–53. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=31605272>. Доступ 19.04.2020.

7. Le revival du GPEC, outil de prévision. *Libération*. [Электронный ресурс]: https://www.liberation.fr/futurs/2007/05/10/le-revival-du-gpec-outil-de-prevision_92732. Доступ 19.04.2020.

8. Scheier, B., Bussmann, A., Brinkmann, F., Wendland, U. Cost efficiency analysis of the satellite based train control system

Sat in Germany. *Signal + Draht*, 2015, No. 11, pp. 36–40. [Электронный ресурс]: https://elib.dlr.de/95568/1/DLR_DB_Signal%2BDraht_11_2015_3InSat.pdf. Доступ 19.04.2020.

9. Barbu, G., Hanis, G., Kaiser, F., Standlmann, B. SATLOC—CNSS based train protection for low traffic lines. *Signal + Draht*, 2014, No. 4, pp. 49–53. [Электронный ресурс]: <https://www.k-report.net/discus/archiv2014/28/SATLOC-256660.pdf>. Доступ 19.04.2020.

10. ЕМИСС. Государственная статистика. Официальные статистические показатели. [Электронный ресурс]: <http://www.fedstat.ru/indicator/data.do>. Доступ 19.04.2020

11. Коваленко Н. И., Коваленко А. Н. Предложения технического обслуживания малоинтенсивных железных дорог в современных условиях. В кн. *Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации земляного полотна железных дорог*. Секция 2. Железнодорожный путь для тяжеловесного движения. — М.: МИИТ, 2017. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35052400>. Доступ 19.04.2020.

12. Odolinski, K., Boysen, H. E. Railway line capacity utilisation and its impact on maintenance costs. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, May 2019, Vol. 9, pp. 22–33. [Электронный ресурс]: https://www.cts.kth.se/polopoly_fs/1.824862.1600688725/CTS2018-10.pdf. Доступ 19.04.2020.

13. Banar, M., Özdemir, A. An evaluation of railway passenger transport in Turkey using life cycle assessment and life cycle cost methods. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, December 2015, Vol. 41, pp. 88–105. [Электронный ресурс]: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361920915001418?via%3Dihub>. Доступ 19.04.2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.09.017>.

14. Коваленко Н. И., Лысенко Н. Н., Аймалетдинов Х. Р. К вопросу уточнения норм периодичности капитальных ремонтных работ для повышения безопасности скоростного движения // Безопасность движения поездов: Труды VI научно-практ. конференции: в 2-х т.; Т. 1 / ОАО «РЖД». ВНИИЖТ. ВНИИАС. МИИТ. — М.: МИИТ, 2005. — С. V-10–11.

15. Романов И. А. Принципы оценки эффективности инновационных проектов в сфере транспорта // Успехи современного естествознания. — 2013. — № 5. — С. 135–136. [Электронный ресурс]: <https://natural-sciences.ru/pdf/2013/5/76.pdf>. Доступ 19.04.2020.

16. Методические рекомендации по оценке инвестиционных проектов на оценке железнодорожном транспорте. — М., 1998. — 123 с.

17. Fraszczyk, A., Lamb, T., Marinov, M. Are railways really that bad? An evaluation of rail systems performance in Europe with a focus on passenger rail. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2016, Vol. 94, pp. 573–591. DOI: [10.1016/j.trd.2016.10.018](https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.10.018).

18. Tsvetkov, V. Ya. Conceptual Model of the Innovative Projects Efficiency Estimation // *European Journal of Economic Studies*, 2012, Vol. 1, pp. 45–50. [Электронный ресурс]: <https://docplayer.ru/72314679-European-journal-of-economic-studies-2012-vol-1-1-conceptual-model-of-the-innovative-projects-efficiency-estimation-victor-ya.html>. Доступ 19.04.2020.

19. Маркелов В. М., Романов И. А. Инноватика и геоинформатика // Дистанционное и виртуальное обучение. — 2012. — № 12. — С. 53–57. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18193030>. Доступ 19.04.2020.





Maintenance of Low-Intensity Railways in Modern Conditions



Nikolay I. KOVALENKO



Nina A. KOVALENKO

*Kovalenko, Nikolay I., Russian University of Transport, Moscow, Russia.
Kovalenko, Nina A., Russian University of Transport, Moscow, Russia*.*

ABSTRACT

The article is devoted to clarification of the structure of maintenance of low-intensity railways by optimising infrastructure maintenance operational personnel using the example of Mikunsky infrastructure section of the Northern Infrastructure Directorate of Russian Railways. As an example of the distance for operation of infrastructure, the article considers Berlin section of infrastructure of German railways. The task of organising the activities of the infrastructure linear enterprise of the track complex, including track section

workers (PC), signalling, centralisation and blocking (SCB) maintenance section personnel working within enlarged teams and emergency repairs teams equipped with service trains and KamAZ vehicles, is considered. For the analysis of information uncertainty, an information model is proposed, for which the risk is considered in the form of determining losses. At the stage of preliminary calculations, a change in the number of maintenance personnel will make it possible to obtain a reduction in operating costs.

Keywords: *railway, low-intensity railway lines (LRL), enlarged section, maintenance, infrastructure linear enterprises, track complex, PC workers, SCB and communication personnel, enlarged brigade, track repairs, emergency work team, information uncertainty, the price of risk.*

*Information about the authors:

Kovalenko, Nikolay I. – D.Sc. (Eng), Professor of Russian University of Transport, Moscow, Russia, kni50@mail.ru.

Kovalenko, Nina A. – Ph.D. (Eng), Associate Professor of Russian University of Transport, Moscow, Russia, nina-alex-kov@mail.ru.

Article received 01.12.2019, revised 16.02.2020, accepted 19.04.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 190.

Background.

Reducing costs for the main types of activities, primarily low-intensity railway lines (hereinafter referred to as LRL), is possible by changing the organizational structure of linear enterprises of maintenance of the railway track and all interconnected infrastructure. As a further improvement, JSC Russian Railways considers creation of infrastructure linear enterprises (hereinafter referred to as IL), combining the activities of track maintenance workers (hereinafter referred to as TM workers), personnel for maintenance of signaling devices, centralized blocking (hereinafter referred to as SCB and communication personnel) and power engineering specialists (hereinafter referred to as PE specialists) [1].

The existing domestic and foreign experience of current maintenance of railway lines by infrastructural linear enterprises (IL) points out the difference in the sections by the nature of transportation. Similar differences are noted in foreign practices [2–4].

The analysis of foreign experience of operating low-intensity railway lines established the following characteristics of such lines [5–8]:

- the presence of one, or, as an exception, two main tracks on the hauls;
- sidings with no more than three tracks are operated as run-off points;
- at most of the run-off points, there is practically no cargo and shunting operations.

An example of the section for operation of infrastructure is Berlin section of the DB infrastructure [9], which maintains 100 km of the extended length of the ballastless railway track, on which high-speed passenger traffic is carried out. The service personnel of the section comprises 250 employees of SCB and communication, 100 specialists of track facilities and 100 specialists in power engineering.

The section personnel should supervise the track, artificial structures, turnouts and elimination of minor malfunctions arising during operation.

For such track sections, faults detected by diagnostic tools should be repaired within six weeks. In case of a break in rails, they are reinforced with brackets with a clamp, and speed is limited to 120 km/h. The next day, the defective point is cut out by the workers of the infrastructure section, and a cut rail section is installed. As a temporary measure, the contractor may perform aluminothermic welding of the rail section at

ambient temperature and humidity that meet specifications. In the future, for continuous operation of the track, in the process of performing scheduled preventive work, this rail cut section is replaced with a rail insert welded in by an electric resistance method.

All works on the track to replace the elements of the track superstructure are carried out in Russia by contractors that won the tender for the work [10].

One of the main problems on the railway network of JSC Russian Railways when using the sectional method of current track maintenance is untimely delivery of labour, machinery and equipment to the work site and their return to the base of deployment. A similar problem is noted by foreign researchers [2; 5 9].

Based on the positive international experience in maintenance of railway lines by infrastructural linear enterprises, the management of JSC Russian Railways has been considering over the past 8–10 years a possibility of using structural units similar to Germany and other countries within JSC Russian Railways [11–14].

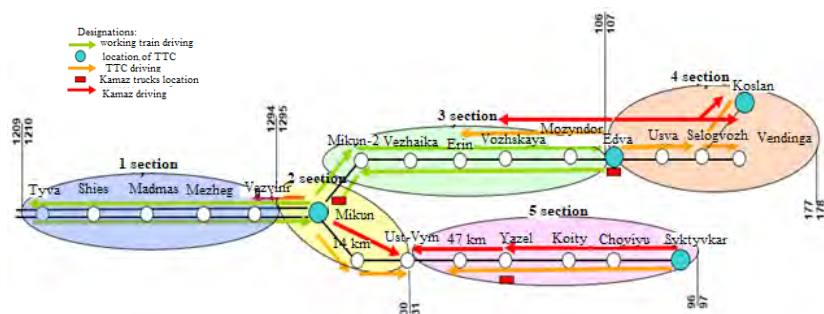
The first experimental IL was formed in 2014 on the basis of Sochi track section of the North Caucasus Directorate of Infrastructure. This IL brought together TM workers, signalling and communication personnel, and specialists in power engineering who were normally located in one and the same settlement. Sochi IL had shown positive operational results. At present, Sochi IL includes TM workers and personnel of SCB and communication.

Based on the positive experience gained at Sochi IL, the management of JSC Russian Railways is solving the problem of organizing similar structural divisions in the territories of all the 16 regional Infrastructure Directorates – branches of JSC Russian Railways (hereinafter referred to as ID).

In 2016, Mikunsky infrastructure section (hereinafter Mikunsky IL) was organized within the operation area of the Northern ID.

A distinctive feature of Mikunsky IL is the inclusion of TM workers and SCB and communication personnel, except for specialists in power engineering, into IL staff. First, such a combination is caused by the features of Mikunsky IL, which is designed to service low-intensity public railway lines with low traffic density and low operational efficiency, typical for this network segment of the Northern Infrastructure Directorate.





Pic. 1. Scheme of delivery of labor, mechanisms and tools for Mikunsky infrastructure linear enterprise.

Another feature of maintenance of this test site of Mikunsky IL is the use of diesel traction, and that also influenced the decision not to include specialists in power engineering into this IL's staff.

The formed Mikunsky IL has five operational sections (Pic. 1).

The organization of five sites on Mikunsky IL is due to convenience of organizing delivery of workforce, mechanisms, and tools.

The total number of the staff of Mikunsky IL is about 280 people, and of the total number of full-time workers of Mikunsky IL, workers make up 63 % (75,5 % of them belong to TM unit), and the personnel of SCB and communication represents 24,5 %.

The number of IL employees is explained by the significant range of the railway service area (Pic. 1). For example, a single-track line in the direction of Vendinga station has a length of more than 176 km, a single-track line in the direction of Syktyvkar station is more than 95 km long, and the length of double-track lines in the direction of Tyva station is more than 99 km.

A feature of organizing delivery of employees to the first, second and third operational sections of the track (Pic. 1) is the use of a work train that delivers teams of 62, 13 and 20 workers, respectively, to the place of work and back to the locations.

To optimise transportation time and reduce delivery costs, there are locations for KamAZ trucks at remote areas of the network area (second, fourth and fifth sections) (Pic. 1).

This type of vehicle is used in the operational areas for transportation of 24 workers from the station Mikun; of 27 people from Edva station, and of 10 people from Yazel station. For convenience of transportation of mechanisms, equipment, materials of the track superstructure, and so on, transport track carts (TTC-4) are used.

The proposed version of the number of IL personnel makes it possible to reduce the maintenance personnel, for example, at LRL

network section with a total length of about 1217 km, approximately by 18÷20 people.

Materials and methods

For the analysis of information uncertainty (Piuc): for example, late delivery of employees, delays in delivery of mechanisms or materials, and so on – an information model is proposed, for which risk is considered as the possibility of determining losses (P), for example, expressed in delivery time or uncertainty of the start time (the end) of operations at the network site (L), arising because of making different control decisions under the conditions of uncertainty [15].

In addition, when assessing risk, it is recommended to consider individual risk tolerance (J), which is described by indifference or utility curves. Thus, the following three parameters can be used to describe the risk, formula (1):

$$Piuc = \{P; L; J\}. \quad (1)$$

When conducting a comparative analysis of all the above-mentioned risk criteria, the advantages and disadvantages of their practical application were revealed. On the basis of the analysis, a generalized criterion is proposed which is the «cost of risk» (Crisk), characterising the amount of conditional losses that are possible during implementation of a management decision, and that are determined in accordance with [16]:

$$Crisk = \{Z; P\}, \quad (2)$$

where Z is defined as the sum of direct losses from management decisions.

Results

To determine the cost of risk, such indicators are used that consider both coordinates of the «vector»: variance, standard deviation, coefficient of variation, and so on. An updated definition of the risk of the project under study (IP) is proposed.

$$R_{IP} = \begin{bmatrix} R_{11}, R_{12}, R_{13}, R_{14}, \dots, R_{1n} \\ R_{21}, R_{22}, R_{23}, R_{24}, \dots, R_{2n} \\ \vdots \\ R_{m1}, R_{m2}, R_{m3}, R_{m4}, \dots, R_{mn} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

For example, it can deal with calculating the discount rate when defining *IP* performance criteria. To calculate the discount rate, we use a model that is a synthesis of a model (CAPM – *Capital Asset Pricing Model*) and a cumulative approach:

The advantage of the proposed method is that it combines the advantages of both models. A feature of the method is calculation of the risk coefficient b :

Z_{YEAR} – average annual salary of a track fitter, rubles;

division considered at the preliminary stage on the example of Mikunsky IL, allow us to conclude that similar structural units are expedient for optimizing management in the activities of linear enterprises of JSC Russian Railways.

In the future, it is necessary to carry out a technical and economic assessment of their activities in order to clarify the optimal boundaries of the service area for similar units, as well as to determine the number of production personnel and their personification for maintenance of the infrastructure of the railway track complex.

REFERENCES

1. Yushkov, M. E. Organization of the use of the infrastructure of low-activity railway lines on the basis of an integral assessment of their activities. Ph.D. (Eng) thesis [Organizatsiya ispolzovaniya infrastruktury malodeyatelnykh zhelezнодорожных liniy na osnove integralnoi otsenki ikh deyatelnosti. Dis...kand. tekh. nauk]. Yekaterinburg, URGUPS, 2014, 163 p. [Electronic resource]: <https://www.usurt.ru/download-document/2500>. Last accessed 19.04.2020.
2. Chudzikiewicz, A. Simulation evaluation of the costs of adapting the low density traffic line to practical exploitation. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 2011, Vol. 20, pp. 244–250. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.org/article/n/523800.pdf>. Last accessed 19.04.2020.
3. Kirilenko, O. N. Economic efficiency of methods of operation of low-activity lines [Ekonomicheskaya effektivnost metodov ekspluatatsii malodeyatelnykh liniy]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2014, Iss. 8, pp. 79–85. [Electronic resource]: https://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/16945/1/Статья_Кириленко_Россия.doc. Last accessed 19.04.2020.
4. Glushchenko, V. A. Complex brigades in low-activity areas [South Ural railway] [Kompleksnie brigady na malodeyatelnykh uchastkakh [Uzhno-Uralskoi dorogi]. Put' i putevoe khozaystvo, 2010, Iss. 1, pp. 24–25. [Electronic resource]: <http://scbist.com/xx1/12276-zhurnal-put-i-p-h-kompleksnye-brigady-namalodeyatelnih-uchastkah-print.html>. Last accessed 19.04.2020.
5. Vakulenko, S. P., Kolin, A. V., Evreenova, N. Yu. Low-Density Lines: State and Optimization Options. *World of Transport and Transportation*, 2017, Vol. 15, Iss. 3, pp. 174–180.
6. Zamyshlyayev, A. M., Akopyan, A., Mikhalkin, I. K., Gapanovitch, V., Shubinsky, I. B. «Urran» – entwicklung von rams bei den russischen eisenbahnen. *Der Eisenbahningenieur: Fachzeitschrift fuer Eisenbahntechnik*, 2014, Vol. 65, Iss. 1, pp. 50–53. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=31605272>. Last accessed 19.04.2020.
7. Le revival du GPEC, outil de prévision. Libération. [Electronic resource]: https://www.liberation.fr/futurs/2007/05/10/le-revival-du-gpec-outil-de-prevision_92732. Last accessed 19.04.2020.
8. Scheier, B., Bussmann, A., Brinkmann, F., Wendland, U. Cost efficiency analysis of the satellite based train control system Sat in Germany. *Signal + Draht*, 2015, No. 11, pp. 36–40. [Electronic resource]: https://elib.dlr.de/95568/1/DLR_DB_Signal%2BDraht_11_2015_3InSat.pdf. Last accessed 19.04.2020.
9. Barbu, G., Hanis, G., Kaiser, F., Standlmann, B. SATLOC–CNSS based train protection for low traffic lines. *Signal + Draht*, 2014, No. 4, pp. 49–53. [Electronic resource]: <https://www.k-report.net/discus/archiv2014/28/SATLOC-256660.pdf>. Last accessed 19.04.2020.
10. EMISS. State statistics. Official statistics [EMISS. Gosudarstvennaya statistika. Ofitsialnie statisticheskie pokazateli]. [Electronic resource]: <http://www.fedstat.ru/indicator/data.do>. Last accessed 19.04.2020.
11. Kovalenko, N. I., Kovalenko, A. N. Proposals for maintenance of low-intensity railways in modern conditions [Predlozheniya tekhnicheskogo obsluzhivaniya malointensivnykh zheleznykh dorog v sovremennykh usloviyakh]. In: *Modern problems of design, construction and operation of the roadbed of railways. Section 2. Railway track for heavy traffic*. Moscow, MIIT publ., 2017. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35052400>. Last accessed 19.04.2020.
12. Odolinski, K., Boysen, H. E. Railway line capacity utilisation and its impact on maintenance costs. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, May 2019, Vol. 9, pp. 22–33. [Electronic resource]: https://www.cts.kth.se/polopoly_fs/1.824862.1600688725!/CTS2018-10.pdf. Last accessed 19.04.2020.
13. Banar, M., Özdemir, A. An evaluation of railway passenger transport in Turkey using life cycle assessment and life cycle cost methods. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, December 2015, Vol. 41, pp. 88–105. [Electronic resource]: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361920915001418?via%3Dihub>. Last accessed 19.04.2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.09.017>.
14. Kovalenko, N. I., Lysenko, N. N., Aimaletdinov, Kh. R. To the question of clarifying the norms of frequency of capital repairs to improve safety of high-speed traffic [K voprosu utochneniya norm periodichnosti kapitalnykh remontnykh rabot dlya povysheniya bezopasnosti skorostnogo dvizheniya]. Safety of train traffic: Proceedings of VI scientific and practical conference: in 2 volumes; Vol. 1: JSC Russian Railways. VNIIZhT. VNIIAS. MIIT. Moscow, MIIT publ., 2005, pp. V-10–11.
15. Romanov, I. A. Principles of assessing the effectiveness of innovative projects in the field of transport [Printsipy otsenki effektivnosti innovatsionnykh proektov v sfere transporta]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2013, Iss. 5, pp. 135–136. [Electronic resource]: <https://natural-sciences.ru/pdf/2013/5/76.pdf>. Last accessed 19.04.2020.
16. Methodical recommendations for assessment of investment projects in railway transport [Metodicheskie rekomendatsii po otsenke investitsionnykh proektov na zhelezнодорожном transporte]. Moscow, 1998, 123 p.
17. Fraszczyk, A., Lamb, T., Marinov, M. Are railways really that bad? An evaluation of rail systems performance in Europe with a focus on passenger rail. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2016, Vol. 94, pp. 573–591. DOI: 10.1016/j.trd.2016.10.018.
18. Tsvetkov, V. Ya. Conceptual Model of the Innovative Projects Efficiency Estimation // *European Journal of Economic Studies*, 2012, Vol. 1, pp. 45–50. [Electronic resource]: <https://docplayer.ru/72314679-European-journal-of-economic-studies-2012-vol-1-1-conceptual-model-of-the-innovative-projects-efficiency-estimation-victor-ya.html>. Last accessed 19.04.2020.
19. Markelov, V. M., Romanov, I. A. Innovatics and geoinformatics [Innovatika i geoinformatika]. *Distantsionnoe i virtualnoe obuchenie*, 2012, Iss. 12, pp. 53–57. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18193030>. Last accessed 19.04.2020.



ГОРОДСКОЙ ЛАНДШАФТ 202

*Как переехать реку по льду:
транспортные инженерные
решения.*



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ 212

*Экономика общественного
электротранспорта в 1910
году.*



URBAN LANDSCAPE 207

*Transportation engineering
solutions: how to cross the
frozen river?*



ELECTRIC TRANSPORT 223

*Economics of public electric
transport in 1910.*

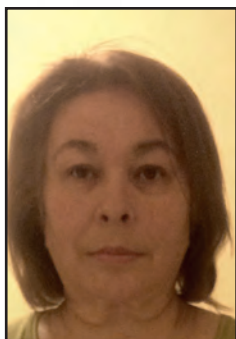


КОЛЕСО ИСТОРИИ • HISTORY WHEEL





По воде аки посуху



Шелихова Алла Киямовна — Российский университет транспорта, Москва, Россия.*

Алла ШЕЛИХОВА

Краткий обзор посвящён истории мостов и других способов пересечения речных преград транспортными средствами в Санкт-Петербурге. Среди са-

мых необычных инженерных решений — проложенная прямо по льду Невы линия электрического трамвая.

Ключевые слова: городской транспорт, мосты, трамвай.

*Информация об авторе:

Шелихова Алла Киямовна – руководитель издательства «Транспорт РУТ», член редакционной коллегии журнала «Мир транспорта», Российский университет транспорта, Москва, Россия, shelikhova.alla@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 12.10.2020, принята к публикации 30.10.2020.

For the English text of the review please see p. 207.

Санкт-Петербург, как всем хорошо известно, — город на большой воде. И ледостав занимает особое место в судьбе города и его истории. Достаточно вспомнить блокаду Ленинграда. Нева во все времена и в любое время года была «транспортной артерией» города.

Уникальность Петербурга состоит ещё и в том, что он стоит на очень широкой и очень глубокой реке. А центром города фактически является огромное водное пространство. Зимой это самое водное простран-

ство покрывается льдом. Такого масштабного «городского» ледостава, безусловно, нет больше нигде в мире.

Вплоть до середины XIX века в «городе на Неве» не было «настоящих мостов». Почему?! Тому есть три простых объяснения.

Во-первых, Пётр I считал акваторию Петербурга одной большой гаванью, в которую должны заходить корабли из всех стран Европы. А мосты мешали бы судоходству.

Во-вторых, мосты не строились из соображений безопасности — в городе постоянно

случались наводнения и штормовые ветры со стороны Финского залива, которые могли повредить эти сооружения.

Была и третья причина. Пётр хотел заставить жителей столицы перемещаться по реке и многочисленным каналам на лодках и частных кораблях, как это происходило в Амстердаме. Он хотел приучить городских жителей плавать на судах.

Но как же тогда петербуржцы попадали на другой берег до появления постоянных мостов? А это было ежедневной потребностью, особенно между Васильевским островом и Адмиралтейской частью. Первый наплавной мост был наведён в 1727 году, он соединил Васильевский остров и нынешнюю Сенатскую площадь. Что такое «наплавной мост»? Его ещё принято было называть плашкоутным (с нидерл. *plaatschuit*; от *plaat* — плоское, от *schuit* — лодка). Плашкоут — это небольшое грузовое судно, которое очень удачно подошло в качестве опоры для наплавного моста. Но тот первый мост у Сенатской площади простоял всего год, затем его разобрали и больше не восстанавливали.

Через пять лет Адмиралтейская коллегия, которая ведала строительством мостов, приняла решение о воссоздании плашкоутного моста. Новый мост назвали Исаакиевским. В честь Исаакия Долматского. На месте, где сейчас стоит Медный всадник, находилась

церковь святого Исаакия Долматского, построенная ещё при Петре I. Мост было решено наводить неподалёку. После ледохода и до следующего ледостава он обеспечивал переход через Неву.

За переход по мосту взималась плата: 1 копейка — с пешего, 2 копейки — с лошади, 5 копеек — с кареты. Это была вполне солидная сумма — среднестатистический гражданин мог себе это позволить. Но к середине XVIII века по распоряжению Елизаветы Петровны плата за проезд по переправе была отменена.

Настоящие постоянные мосты через Неву появились только в середине XIX века. Первый арочный мост был построен в 1850 году. Его назвали Николаевский (с 1918 г. — мост лейтенанта Шмидта, с 2008 г. — Благовещенский).

После того как был построен Николаевский мост, Исаакиевский перенесли в сторону Биржи — где сейчас стоит Дворцовый мост, строительство которого началось в 1913 году. Тогда Исаакиевский вернули на прежнее место.

Он простоял вплоть до 1916 года. Искра из проходившего мимо буксира попала в плашкоут. Исаакиевский мост освещался керосиновыми фонарями, и внутри судна хранился керосин. Мост сгорел дотла, а его куски плыли по Неве в сторону Финского залива. Анна Ахматова стала случайным



свидетелем этого пожара и описала его в своём дневнике.

Но когда в Петербурге ещё не было мостов, жители города переправлялись с одного берега на другой на лодочных перевозах. Крупный лодочный перевоз был там, где сейчас располагается Гагаринская улица. И называется эта улица не в честь первого космонавта, как многие думают, а от «Гагаринской переправы», которая принадлежала князю Гагарину. Зимой катера заменялись санными экипажами.

В XVIII веке, как только Нева застывала, наплавные мосты разбирались. Люди начинали перемещаться просто по льду. Но Исаакиевский наплавной мост в XIX веке действовал уже и во время ледостава. Через Неву нужно было перевозить многочисленные крупногабаритные грузы, а по льду на санях это делать было опасно и не очень удобно.

Но самым необычным «транспортным проектом на льду» можно смело назвать «Ледовый трамвай» в Санкт-Петербурге. «Самая необычная» в России, да и в мире, трамвайная линия поражала не только тем, что действовала с 1895 года от контактной сети.

В 1874–1876 гг. русский инженер Фёдор Аполлонович Пироцкий провёл ряд опытов по передаче тока по рельсам на расстояние 1 км. Для этой цели он использовал заброшенный участок Сестрорецкой железной дороги, один из рельсов которой был прямым проводом, а другой — обратным. Опыты прошли успешно, и уже в 1876 г. Пироцкий установил электрический двигатель на одном из вагонов Петербургской конно-железной дороги. После серии проведённых испытаний, 22 августа 1880 г. в 12 часов дня в Петербурге, на Песках, это на углу Болотной улицы и Дегтярного переулка, в первый раз в России была проверена возможность движения трамвайного вагона «электрической силою, идущей по рельсам, по которым катятся колёса вагона». Мотор, подвешенный снизу, передача вращения с помощью шестерён и целый ряд других приспособлений были сделаны самим Фёдором Пироцким совместно с другим выдающимся электротехником — Владимиром Чиколёвым. Бывшему кончному вагону № 114 было суждено стать первым в мире электрическим трамваем. Несмотря на большую нагрузку — 40 пасса-

жиров — вагон двигался «со скоростью конской рыси» (около 36 км/ч), достаточной скоростью для городского транспорта. Сохранились отчёты, из которых следует, что опыты продолжались несколько дней: 1, 14, 15, 16 сентября.

Вагон, который передвигался самостоятельно, привёл в изумление всех зрителей, собравшихся в Рождественском парке. По словам одного из них: «странно, даже жутко становится смотреть на вагон, который движется без лошади и который по одному только желанию управляющего им кучера может внезапно останавливаться и двигаться в обратном направлении».

Несмотря на удачный эксперимент, владельцы обществ конно-железных дорог не очень обрадовались этому и не поддержали новшество. Переоборудование действующей конной дороги в электрическую требовало вложения внушительных средств, а дополнительных выгод владельцы «конножелезки» не увидели. Из-за этого открытие трамвайного движения в Петербурге задержалось на целых 27 лет.

Всё дело было в том, что между Акционерным обществом конно-железных дорог и городскими властями с 1875 года был заключён долгосрочный договор, запрещающий передавать право на пассажирские перевозки в Петербурге кому-либо ещё. Выкупить конно-железные дороги правительство могло только через 15 лет, или через сорок лет дороги должны были сами вернуться под контроль правительства.

К этому времени трамвай стал привычным видом транспорта, который уже вовсю ходил по улицам Витебска, Екатеринослава, Житомира, Казани, Киева (здесь трамвай начал работать первым, в 1892 году), Курска, Москвы, Нижнего Новгорода, Орла, Севастополя... А в Петербурге самым массовым видом транспорта оставались конки, появившиеся в городе в 1863 году.

Две лошади тянули по рельсам металлический вагон, внутри которого располагались места для пассажиров. На задней площадке располагалась лестница, которая вела на империал (крышу), там стояли две скамьи спиной друг к другу. В начале вагона была небольшая площадка для вожатого, управляющего лошадьми. Скорость таких вагонов не превышала восьми километров в час. Проезд внутри вагона стоил 5 копеек, на



крыше — 3 копейки. В 90-х годах XIX века конка ежегодно перевозила около 57 млн пассажиров и приносила огромные доходы.

Поскольку закон ограждал коночников от конкуренции только на суше и улицах города, в 1894 году Инженеры Общества финляндского лёгкого пароходства под руководством Р. К. фон Гартмана, придумавшие этот грандиозный проект, решили пустить вагоны по замёрзшей реке, проложив там шпалы и рельсы и установив вмороженные в лёд столбы.

Они организовали так называемый «рельсовый перекат», который успешно действовал две зимы. Сначала вагоны были небольшими и двигались естественным способом по наклонному маршруту от одного берега Невы к другому.

Самая первая ледовая линия была проложена поперек Невы между Сенатской площадью и Васильевским островом и имела длину всего 180 саженей (около 380 м), т.е. фактически это был просто перевоз с одного берега на другой. Тем не менее он пользовался огромной популярностью. Поэтому уже в следующем году было создано «Высочайше утверждённое Товарищество для эксплуатации электричества М. М. Подобедова и К°», которое проложило по льду сначала три трамвайных маршрута: от Сенатской площа-

ди на Васильевский остров, от Дворцовой набережной на Мытнинскую набережную, от Суворовской площади на Выборгскую сторону. После чего добавили ещё один маршрут: от Суворовской площади на Петербургскую сторону. Сами перевозки тоже принадлежали (возможно, не все) товариществу М. М. Подобедова и К°.

На смену миниатюрным открытым вагонам пришёл настоящий трамвай на электрической тяге, который горожане сразу назвали «ледовый трамвай».

На подготовку к запуску трамвая по льду Невы было потрачено 28 тыс. рублей. 19 января 1895 года по старому стилю (2 февраля по новому) был пущен первый электрический трамвай.

Это был первый доступный общественный транспорт на электрической тяге. Ток на рельсы узкоколейки подавала динамо-машина, установленная на барке у Мытнинской набережной. Токоприёмник был штанговый, колея 1067 мм, напряжение 225 В, скорость 20 км/ч, посадочных мест 20. Линии однопутные, но были и двухпутные вставки-разъезды. Скорее всего, лёд под полотно дополнительно наращивали, поливая водой. В лёд вмораживали столбы, по которым тянули провода, а по ним и рельсам пускали ток. Вагон использовался от конки. Стои-



мость проезда составляла от трёх до пяти копеек, для детей при родителях — бесплатно.

Как писал в 1895 году журнал «Всемирная иллюстрация»: *«Во время движения вагона в неровных местах проволоки, соприкасающейся с электроприёмником, появляются искры, производящие любопытное зрелище. Движение вагона регулируется замыканием и отмыканием электрического тока и особыми тормозами. Всех вагонов пока назначено для перевозки пассажиров четыре, и плата за возку назначена три копейки с пассажира».*

Ни разу за всё время существования этого трамвая не было провалов под лёд. Инженеры работали очень грамотно, просчитывали толщину льда, рельсы укладывались в тех местах, где лёд был крепок. Самые серьёзные аварии, которые случились за всё время эксплуатации, — это обрыв проводов и «самоход» трамвая без водителя, когда вагон начал сам по себе скользить. Но аварии всё же были. В питерских газетах того времени было описано несколько случаев. Как-то сообщалось о разрыве проводов, в результате чего трамвай встал на середине реки, и пассажирам пришлось идти пешком. И однажды сообщалось об оттепели, когда «река поднялась и подпортила пути».

Ледовые трамваи ездили по четырём маршрутам:

- «Сенатский перевоз» между Сенатской площадью и Румянцевским сквером на Васильевском острове;
- «Дворцовый перевоз» от Зимнего дворца до Мытнинской набережной на Петроградской стороне (вероятно, ещё существовал остановочный пункт неподалёку от стрелки Васильевского острова);
- Линия из района Суворовской площади на Выборгскую сторону;
- Линия из района Суворовской площади на Петроградскую сторону (была проложена позже).

Первая электрифицированная линия на льду стала «большим удобством для обывателей Петроградской стороны», писал всё тот же журнал «Всемирная иллюстрация»: за три копейки они получили «отличное скорое сообщение с центральными частями столицы». Пересечь Неву по льду от Зимнего дворца до Зоологического сада в маленьком «самоходном» вагончике считалось весёлым зимним аттракционом.

По словам сотрудников «Горэлектротранса» Петербурга, зимы в ту пору стояли суровые, и пользоваться таким транспортом петербуржцы нисколько не опасались, а с наступлением весны, после ледохода, на тех же маршрутах начинали снова действовать паромные переправы. Начинали работу «ледовые трамваи» едва лёд становился крепким — около 20 января, заканчивали в марте — 21.

Проект оказался довольно прибыльным — за первый сезон удалось перевезти около 900 тыс. пассажиров, что подтолкнуло городские власти к судебной тяжбе с владельцами конно-железных дорог. Тяжба длилась с февраля 1896 по сентябрь 1902 гг., с целью признать недействительным вышеупомянутый договор 1875 года. После победы в суде Городская дума приняла решение о строительстве наземных линий трамвая. 16 сентября 1907 года был открыт первый маршрут от Главного штаба до 8-й линии Васильевского острова. Но «ледяной трамвай» ещё три года продолжал перевозить пассажиров.

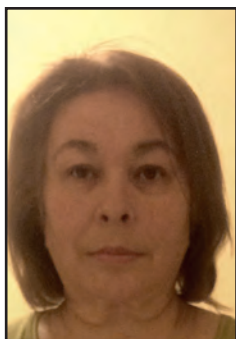
В 1910 году трамвайные линии по льду Невы были проложены в последний раз. К сожалению, кроме чертежей, хранящихся в городском музее, никаких свидетельств и образцов «ледяного трамвая» не сохранилось. К концу 80-х годов прошлого века система трамвайного движения в Санкт-Петербурге стала самой большой в мире и была включена в Книгу рекордов Гиннесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. От конки до трамвая: Из истории Петербургского транспорта: Альбом. — Сост.: Е. Шапилов, М. Величенко, Л. Процай, Н. Буйнякова. — СПб.: Лики России; М.: Джулия, 1993. — 239 с. [Электронный ресурс]: <https://www.rulit.me/books/ot-konki-do-tramvaya-iz-istorii-peterburgskogo-transporta-sostaviteli-shatilov-e-velichenko-m-proshc-download-558746.html>. Доступ 20.10.2020.
2. Трамвай и троллейбус Санкт-Петербурга. К 90-летию открытия трамвайного движения в СПб. / Авторы-составители: М. Н. Величенко, Б. С. Канторович, Л. Г. Питкянен, В. А. Попов, Х. С. Рубин. — СПб.: Лики России, 1997. — 240 с.
3. Ледовый трамвай на открытках // Петербургский коллекционер. — 2007. — № 4 (44). — С. 46–47. [Электронный ресурс]: https://www.studmed.ru/peterburgskiy-kollekcioner-2007-04-44-_be3db8fc6e3.html. Доступ 20.10.2020.
4. Александров Ф. Зимние трамвайные пути через Неву // Адреса Петербурга. — 2004. — № 11 (23). [Электронный ресурс]: <https://adresaspb.ru/category/different/history/zimnie-tramvaynye-puti-cherez-nevu/>. Доступ 20.10.2020.
5. Ледовый трамвай. [Электронный ресурс]: <https://fishki.net/anti/1307474-ledovyy-tramvaj.html>. Доступ 20.10.2020. ●



On the Water like on the Dry Land



Shelikhova, Alla K., Russian University of Transport, Moscow, Russia.*

Alla K. SHELIKHOVA

A short review is devoted to the history of the bridges and other means of crossing rivers by transport vehicles in St. Petersburg.

The line of electric tram laid directly on the ice of the frozen river is among most uncommon engineering solutions.

Keywords: urban transport, bridges, tram.

*Information about the author:

Shelikhova, Alla K. – Head of the RUT Transport editions, Member of the Editorial Board of World of Transport and Transportation Journal, Russian University of Transport, Moscow, Russia, shelikhova.alla@yandex.ru.

Article received 12.10.2020, accepted 30.10.2020.

For the original Russian text of the review please see p. 202.

St. Petersburg, as everyone knows, is a city on high water. And freezing takes a special place in the fate of the city and its history. It is sufficient to recall the blockade of Leningrad. At all times and at any time of the year the Neva was the city's «transport artery».

The uniqueness of St. Petersburg lies in the fact that it stands on a very wide and very deep river. And the centre of the city is actually a huge body of water. In winter, this very body of water is covered with ice. Such a large-scale «urban» freeze-up, of course, is not found anywhere else in the world.

Until the middle of 19th century, there were no «real bridges» in the «city on the Neva». Why?! There are three simple explanations for this.

Firstly, Peter I considered the water area of St. Petersburg to be one large harbour, into which ships from all European countries should enter. And bridges would interfere with shipping.

Secondly, the bridges were not built for safety reasons – the city constantly suffered floods and storm winds from the Gulf of Finland, which could damage these structures.

There was also the third reason. Peter wanted to force the inhabitants of the capital

to move along the river and numerous canals in boats and private ships, as was the case in Amsterdam. He wanted to teach city dwellers to sail on ships.

But how then did the Petersburgers get to the other side before appearance of permanent bridges? And this was a daily requirement, especially between Vasilievsky Island and the Admiralty district. The first pontoon bridge was erected in 1727, it connected Vasilievsky Island and the current Senate Square. What is a «floating bridge»? It was also customary to call it pontoon (from Dutch *plaatschuit*: *plaat* – flat, *schuit* – boat). A pontoon is a small cargo ship that is very well suited as a support for a floating bridge. But that first bridge at Senate Square stood only for a year, then it was dismantled and was never restored.

Five years later, the Admiralty Collegium, which oversaw construction of bridges, decided to recreate the pontoon bridge. The new bridge was named Isaakievsky in honour of Isaac Dolmatsky. In the place where the Bronze Horseman now stands, there was the Church of St. Isaac of Dolmatsky, built during the reign of Peter I. It was decided to build the bridge nearby. After the ice drift and until the next freeze-up, it provided the passage across the Neva.

For crossing the bridge, a fare was charged: 1 kopeck – from a pedestrian, 2 kopecks – from a horse, 5 kopecks – from a carriage. It was quite a feasible amount – the average citizen could afford it. But by the middle of 18th century, by order of Elizaveta Petrovna, the fare on the crossing was cancelled.

Real permanent bridges across the Neva appeared only in the middle of 19th century. The first arched bridge was built in 1850. It was named Nikolaevsky (since 1918 – Lieutenant Schmidt Bridge, since 2008 – Blagoveshchensky).

After the Nikolaevsky bridge had been built, Isaakievsky was moved towards the Stock Exchange – where the Palace Bridge now stands, the construction of which began in 1913. Then Isaakievsky bridge was returned to its original place.

It stood until 1916. A spark from a passing tug hit the pontoon. Isaakievsky bridge was lit with kerosene lanterns and kerosene was stored inside the ship. The bridge burned to the ground, and pieces of it floated along the Neva towards the Gulf of Finland. Anna Akhmatova became an accidental witness of this fire and described it in her diary.

But when there were no bridges in St. Petersburg yet, the inhabitants of the city were ferried from one bank to the other by boat. There was a large boat trip where Gagarinskaya Street is now located. And this street is called not in honour of the first cosmonaut, as many think, but thanks to the «Gagarin ferry», which belonged to prince Gagarin. In winter, the boats were replaced by sled carriages.

In 18th century, as soon as the Neva froze, the floating bridges were dismantled. People just started to move on the ice. But Isaakievsky pontoon bridge in 19th century was already in operation during the freeze-up period. Numerous oversized cargos had to be transported across the





Neva, but it was dangerous and not very convenient to do this on ice on a sled.

But the most unusual «transport project on ice» can be safely called the «Ice Tram» in St. Petersburg. The «most unusual» in Russia, and in the world, the tram line amazed not only by the fact that it operated from 1895 from the contact network.

In 1874–1876 Russian engineer Fyodor Apollonovich Pirotsky conducted a series of experiments on transmission of current along rails over a distance of 1 km. For this purpose, he used an abandoned section of Sestroretsk railway, one of the rails of which was a direct wire, and the other was a reverse. The experiments were successful and already in 1876 Pirotsky installed an electric motor on one of the carriages of Petersburg horse-drawn railway. After a series of tests carried out, on August 22, 1880 at 12 noon in St. Petersburg, on Peski, this is at the corner of Bolotnaya Street and Degtyarny Lane, that for the first time in Russia the possibility of a tram car movement was tested by «*electric force running on rails along which the wheels of the carriage are rolling*». The motor suspended from below, the transmission of rotation by means of gears and a number of other devices were made by Fyodor Pirotsky himself together with another outstanding electrical engineer — Vladimir Chikolev. The former No. 114 horse carriage was destined to become the world's first electric tram. Despite the heavy load — 40 passengers — the carriage moved «at the speed of a horse trot» (about 36 km/h), sufficient speed for urban

transport. There are reports from which it follows that the experiments continued for several days; September 1, 14, 15, 16.

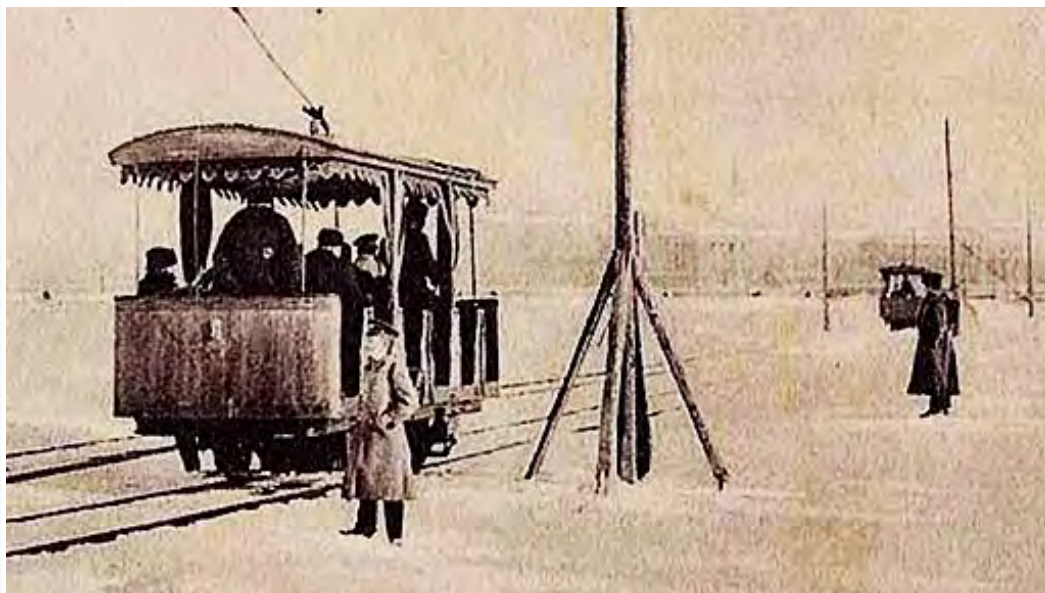
The carriage, which moved independently, amazed all the spectators gathered in the Rozhdestvensky park. In the words of one of them: «*It is strange, even creepy to look at a carriage that moves without a horse and which, at the mere request of the coachman driving it, can suddenly stop and move in the opposite direction*».

Despite the successful experiment, the owners of horse-drawn railways were not very happy about this and did not support the innovation. Re-equipment of the existing horse-drawn road into an electric one required an impressive investment, and the owners of the horse track did not see any additional benefits. Because of this, the opening of tram traffic in St. Petersburg was delayed by as much as 27 years.

The whole point was that between the Joint Stock Company of Horse Railways and the city authorities since 1875 a long-term agreement was concluded prohibiting the transfer of the right to passenger transportation in St. Petersburg to anyone else. The government could redeem the horse-drawn railways only after 15 years, or in forty years the roads themselves had to return under government control.

By this time, the tram had become a familiar form of transport, which was already in full swing on the streets of Vitebsk, Yekaterinoslav, Zhitomir, Kazan, Kiev (here the tram started operating first, in 1892), Kursk, Moscow, Nizhny Novgorod, Orel, Sevastopol... And in





St. Petersburg, the most popular form of transport was horse-drawn trams, which appeared in the city in 1863.

Two horses were pulling a metal carriage along the rails, inside of which there were seats for passengers. On the back landing there was a staircase that led to the imperial (roof), there were two benches with their backs to each other. At the front part of the car there was a small platform for the cabman driving the horses. The speed of such cars did not exceed eight kilometres per hour. A ride inside the carriage cost 5 kopecks, on the roof – 3 kopecks. In the 90s of 19th century, the horse tram carried about 57 million passengers annually and brought huge profits.

Since the law protected horse-traders from competition only on land and city streets in 1894, the Engineers of the Society of the Finnish Light Shipping Company under the leadership of R. K. von Hartmann, who came up with this grandiose project, decided to start the carriages along the frozen river, laying sleepers and rails there, and installing pillars frozen in the ice.

They organized the so-called «rail roll», which successfully operated for two winters. At first, the cars were small and moved in a natural way along an inclined route from one bank of the Neva to the other.

The very first ice line was laid across the Neva between Senatskaya Square and Vasilievsky Island and had a length of only 180 fathoms

(about 380 m) – i.e. in fact, it was just a transport from one coast to another. Nevertheless, it enjoyed immense popularity. Therefore, the very next year, the «Imperially approved Partnership for operation of electricity by M. M. Podobedov and Co» was created, which first laid three tram routes across the ice: from Senatskaya Square to Vasilyevsky Island, from Palace Embankment to Mytninskaya Embankment, from Suvorovskaya Square to the Vyborg side. Then another route was added: from Suvorovskaya Square to the Petersburg side. The transports themselves also belonged (perhaps not all) to the partnership of M. M. Podobedov and Co.

The miniature open cars were replaced by a real electric tram, which the townspeople immediately called the «ice tram».

28 thousand rubles were spent on preparations for the launch of the tram across the ice of the Neva. On January 19, 1895 according to the old style (February 2 according to the new), the first electric tram was launched.

It was the first affordable electric public transport. The current on rails of the narrow-gauge railway was fed by a dynamo installed on a barge near Mytninskaya embankment. The pantograph was rod-type, 1067 mm track, 225 V voltage, speed of 20 km/h, 20 seats. Single-track lines were operated, but there were also double-track inserts-passing. Most likely, the ice under the roadbed was additionally reinforced by pouring water. Pillars were frozen into the ice, along which wires were pulled, and

current was sent along them and on the rails. The carriage of the horse tram was used. The fare was from three to five kopecks, for children with parents the ride was free.

As the magazine «World Illustration» wrote in 1895: «*During movement of the carriage, sparks appear in uneven places of the wire in contact with the electric receiver, producing a curious sight. The movement of the car is regulated by closing and uncoupling of the electric current and special brakes. All carriages have been assigned for transportation of passengers so far, and payment for transportation is set at three kopecks per passenger*».

During the entire existence of this tram there have never been sinkholes under the ice. The engineers worked very competently, calculated the thickness of the ice, the rails were laid in those places where the ice was strong. The most serious accidents that have happened over the entire period of operation are wire breakage and «self-propelled» tram without a driver, when the car began to slide by itself. But there were still accidents. Several cases were described in St. Petersburg newspapers of that time. Somehow it was reported that the wires were broken, as a result of which the tram stopped in the middle of the river, and the passengers had to walk. And once a thaw was reported, when «the river rose and spoiled the rails».

Ice trams travelled on four routes:

- «Senatsky transport» between Senatskaya Square and Rumyantsevsky Square on Vasilevsky Island;

- «Palace transport» from the Winter Palace to Mytninskaya embankment on the Petrogradskaya side (probably, there was still a stopping point near the spit of Vasilevsky Island);

- Line from the area of Suvorovskaya square to the Vyborg side;

- Line from the area of Suvorovskaya square to the Petrogradskaya side (was laid later).

The first electrified line on the ice became «a great convenience for the inhabitants of the Petrograd side», wrote the same magazine «World Illustration»: for three kopecks, they received «*excellent fast communication with the central parts of the capital*». Crossing the Neva on ice from the Winter Palace to the Zoological Garden in a small «self-propelled» trailer was considered a fun winter attraction.

According to employees of «Gorelektrotrans» of Petersburg, winters at that time were severe, and Petersburgers were not at all afraid to use

such transport, and with the onset of spring, after an ice drift, ferry crossings began to operate again on the same routes. The «ice trams» started work as soon as the ice became strong — around January 20, and finished on March 21.

The project turned out to be quite profitable — in the first season, about 900 thousand passengers were transported, which prompted the city authorities to litigate with the owners of the horse-drawn railways. The litigation lasted from February 1896 to September 1902, with the aim of invalidating the aforementioned 1875 treaty. After the victory in court, the City Duma decided to build ground tram lines. On September 16, 1907, the first route from the General Staff Building to the 8th line of the Vasilevsky Island was opened. But the «ice tram» continued to carry passengers for three more years.

In 1910, tram lines were laid on the ice of the Neva for the last time. Unfortunately, apart from the drawings kept in the city museum, no evidence and samples of the «ice tram» have survived. By the end of the 80s of the last century, the tram system in St. Petersburg became the largest in the world and was included in the Guinness Book of Records.

REFERENCES

1. From horse tram to the electric tram: from the history of transport of Petersburg [Ot konki do tramvaya: Iz istoriyi Peterburgskogo transporta]. The album. Compiled by E. Shapilov, M. Velichenko, L. Protsay, N. Buiniakova. St. Petersburg, Liki Rossii publ.; Moscow, Juliya publ., 1993, 239 p. [Electronic resource]: <https://www.rulit.me/books/ot-konki-do-tramvaya-iz-istorii-peterburgskogo-transporta-sostaviteli-shatilov-e-velichenko-m-proshch-download-558746.html>. Last accessed 20.10.2020.

2. Tram and trolley bus of St. Petersburg. Dedicated to the 90th Anniversary of inauguration of tram traffic in the city [Tramvay i trolleybus Sankt-Peterburga. K 90-letiyu otkrytiya tramvaynogo dvizheniya v SPb]. Written and compiled by M. N. Velichenko, B. S. Kantorovich, L. G. Pitkanen, V. A. Popov, Kh. S. Rubin. St. Petersburg, Liki Rossii publ., 1997, 240 p.

3. Ice Tram on the postcards [Ledoviy tramvay na otkrytkakh]. Peterburgsky kollektsioner, 2007, Iss. 4 (44), pp. 46–47. [Electronic resource]: <https://www.studmed.ru/peterburgskiy-kollekcioner-2007-04-44-be3db8fc6e3.html>. Last accessed 20.10.2020.

4. Alexandrov, F. Winter tram routes to cross Neva [Zimnie tramvaynye puti cherez Nevu]. Adresa Peterburga, 2004, Iss. 11 (23). [Electronic resource]: <https://adresaspb.ru/category/different/history/zimnie-tramvaynye-puti-cherez-nevu/>. Last accessed 20.10.2020.

5. Ledovy tramvay [Ice Tram]. [Electronic resource]: <https://fishki.net/anti/1307474-ledovyy-tramvaj.html>. Last accessed 20.10.2020.



DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-212-232>

В воспроизводимом с некоторыми сокращениями, но с максимальным сохранением авторской лексики и стиля из издания «Железнодорожного дела» 1910 года докладе И. В. Ширмана на заседании VIII Отдела Императорского Русского Технического Общества 4 марта 1910 г., под председательством О. А. Струве рассматривались технические и экономические вопросы эксплуатации перспективных на тот момент транспортных средств на электрической тяге, уже тогда звучала мысль о перспективности автономных пассажирских систем.

Ключевые слова: транспорт, история транспорта, электротранспорт, безрельсовые системы.

For the English text of the article please see p. 223.

Редакция выражает признательность сотрудникам библиотеки Российского университета транспорта за помощь в подготовке материала.

ПЕРЕДВИЖЕНИЕ ПассажиРОВ И ГРУЗОВ ПО БЕЗРЕЛЬСОВОМУ ПУТИ

Экипажи с аккумуляторами электрическими оказались более пригодны для движения по безрельсовому пути и, несмотря на потери энергии, связанные с последовательными зарядкой и разрядом батареи, и быстрым изнашиванием электродов, бывают условия, когда применение таковых вполне оправдывается, как увидим ниже.

Ещё выгоднее, однако, непосредственная подача электрической энергии при помощи верхнего провода (двойного — для подачи и обратного отвода энергии) к электромоторам, подвешенным к осям экипажа, если протяжение линий ограничивается 3–4 километрами и направление движения вполне определенное раз и навсегда. В дальнейшем мы и перейдем к рассмотрению этих двух типов, начав с аккумуляторного электри-

ческого экипажа, имеющего за собой преимущество свободы движения в любом направлении на протяжении до 75 километров без новой зарядки.

Подобные экипажи появились впервые в 1898 г. системы Krieger в Париже (см. статью Sieg в E. T. Z. 1908 №№ 52 и 53); с тех пор в детали постройки введено много усовершенствования, но главный элемент: аккумуляторная батарея ждет ещё окончательного усовершенствования.

Применяемые до сих пор свинцовые элементы и раствор кислоты серной, представляют довольно значительный вес, а именно 1 килограмма на 7,5 ватт-часов производительности; имеются конструкции, весящие 1 кг на 30 ватт-часов производительности (см. J. C.), но таковое облегчение достигается в ущерб долговечности, которая вообще невелика.

При движении аккумуляторных вагонов по рельсовому пути, где толчков меньше, пластины служат не более как 100000 километров пробега, в среднем. Положительные 100—120000, отрицательные не более 60000.

При движении по безрельсовому пути срок службы должен понизиться несомненно.

Так называемые щелочные батареи с цинковыми или железно-никелевыми электродами пока не оправдались; электродвигательная сила подобного элемента всего 1,2 вольта, тогда как в кислотных 2 вольта. Коэффициент отдачи всего 50 % в первых, тогда как в последних доходит до 75 %. Стоимость их также выше. В Америке продолжают испытания батареи системы Эдисона, обещавшей в своё время много, но до окончательного усовершенствования ещё далеко.

Что касается моторов, то применяются 2 типа:

1. *Быстроходный* лёгкий, подвешиваемый к раме с зубчатой или цепной передачей к ведущей оси...

Ведущей осью предпочтительнее иметь заднюю — меньше шансов повреждения, и переднюю ось тогда делают с поворотом каждого колеса отдельно, как в автомобилях бензиновых.

2. *Тихоходный* — 150—250 оборотов в минуту, непосредственно соединённый с колесом.

Представляя некоторые преимущества, благодаря отсутствию передачи, моторы подобной конструкции получают больших размеров, при столкновении легко подвергаются порче и много тяжелее. Обмотка последовательная или шунтовая, т.е. возбуждение в ответвлении; последняя оправдывается на участках с перемежающимися уклонами и подъёмами.

Мы не будем вдаваться в детали конструкции, так как цель заметки — выяснить стоимость эксплуатации. Таковая определялась в некоторых случаях применения описываемой системы следующими цифрами:

1. *Пожарный насос в Берлине — годовой пробег = 1500 км.*

	На 1 км
Расходы по содержанию батареи	31,50
По возобновлению энергии	391,73 } 28 пф.
	423,23 марки

Содержание мотора, контроля, провод.	30	2
Смазка	12	0,8
Резиновые шины	457	30,4
Приспособления для устранения скольжения («Derapant»)	100	6,65
Исправление кузова	45	3
Разное (в том числе зарядка около 600 к.у.ч.)		137,77 9,15
Итого		1205 марок 80 пф.

а для 4 насосов всего	4820 марок
при паровой тяге	6920
при лошадиной тяге	17281

вследствие незначительности годового пробега и необходимости содержать лошадей круглый год.

Вес подобного экипажа 4,5 тонны, развиваемая скорость движения по сухому асфальту достигала 36 килом./час. При этом расход энергии (68 ампер X 145 вольт) / (36 x 4,5) = 56,4 ватт-час/т • км

И расход на километр пробега 56,4 x 4,5 = ∞ 254 ватт-час, а зарядка тока, считая коэффициент отдачи = 75 % ∞ 340. Экипаж мог пройти 86 километров до полного истощения (считая 56,4: 0,75 = 76 ватт-час/т • км, в действительности в среднем расходовалось 97 ватт-час/т • км» (см. ст. Sieg l.c).

Подобный же экипаж пожарного обоза в Дюссельдорфе дал расход в 59,6 ватт-час по мокрому асфальту при v = 36 км/ч и сильным ветре.

При v = 18 км/ч расход энергии упал до 41,5 ватт-час/т • км.

Экипаж сделал пробег в 108 км, и батарея ещё не была истощена.

Экипаж преодолевал уклоны до 100 % со скоростью 18 км/ч, не останавливался в снегу и т.п.

2. *Каретки для перевозки больных.*

В Кёльне, ежедневный пробег около 50 км;

годовое содержание... 7200 марок;

при лошадиной тяге было... 9400 марок.

В Гарлахинге близ Мюнхена — преодолевает уклон в 170 % на протяжении 600 метров;

годовое содержание... 4360 марок;

при лошадиной тяге... 5548.

3. *Каретки для сборки писем из почтовых ящиков также оказались выгодными в эксплуатации.*

Мы приводим ещё данные об эксплуатации уличных экипажей, при хорошем состоянии мостовых.

В Берлине действует крупное предприятие подобного рода «Bedag» (Berliner-





Elektromobil-Droschken A. G.) с капиталом в $2 \cdot 10^6$ марок.

Выручка и расход по этому предприятию выразились следующими цифрами: (Е. Т. Z. 08. № 28):

Выручка: за 1907 (5 мес.)	за 1908 (5 мес.)
390000 марок (36,39)	895000 (36,80 экип.-сутки).
Расход	-615000
	+280000

Вследствие отсутствия запаха отработавших газов, безопасности в пожарном отношении, меньших сотрясений при работе электромотора и более удобного управления, подобные экипажи, по мнению многих, должны вытеснить бензиновые автомобили в области уличного движения, но решающим фактором является стоимость эксплуатации.

Хотя содержание электромотора обходится дешевле содержания двигателя внутреннего сгорания, но расход на содержание батареи пока ещё довольно велик, высока и плата за ток для зарядки.

Вначале, когда ограничивались максимальной скоростью движения в 15 км/ч, вес экипажа не превосходил 1400 кг, включая 3 сиденья, и содержание батареи, расход на ток и шины был меньше, чем теперь в экипажах, могущих развить скорость до 25 км/ч и весящих 2000 кг и более.

Сплошные резиновые шины для подобной скорости непригодны, нужны пневматики; а это, в свою очередь, повышает расход работы, как показывает нижеприводимая табличка:

* Перед. колёса	Задние	Расход в ватт-час/ экип. килом.
1 Сплошн. резина	I Пневмат. снабж. «derapant»	179 ватт-час
2 Пневматик		162 ватт-час
3 Сплошн. резина	I Сплошн. рез. II	148 ватт-час
4 « »	II Пневматик	131 ватт-час
5 « »	II Сплошн. рез. II	116 ватт-час

Отношение 1:5 = 1,5.

Расход на экипаж-километр определяется сейчас в Германии след. цифрами:

1. Шины резиновые	10 пф.
2. Содержание батареи (от 5 до 8) в средн.	6 пф.
3. Ток для зарядки, считая 250—300 ватт-час и 8—12 пф. км.-ч	4 пф.
4. Содержание мотора, контроллера, и проводов.	1,5 пф.
5. Сод. кузова, ресс. и пр.	1,5 пф.
Итого экип.-километр.	23 пф.

Вожатый получает 2 марки или 1 марку и определённый % валовой выручки, что

может составить до 6 марок в среднем или, при дённом пробеге в 60—70 километров, ещё 10 пф. Итого 33 пфеннига/экипаж-км. К этой цифре надо прибавить ещё расходы по содержанию гаража, % на затраченный капитал, погашение, страховку, налоги.

Расходы, в общем, не на много выше, чем для бензиновых автомобилей. Недостатком является зависимость от станции, где производится зарядка и потеря времени на эту зарядку. Но, как мы видели, есть специальные случаи, когда применение подобных экипажей выгодно, хотя они не так универсальны, как бензиновые автомобили. Ещё более связаны экипажи, получающие энергию от воздушного провода, но их эксплуатация настолько дешева, что применение таковых оправдывается во многих случаях, как показал опыт.

В русской литературе о подобных экипажах впервые трактовал В. П. Шуберский (см. Журнал Министерства Пут. Сообщ. за 1902 г. №№ 4 и 5). С тех пор сделано много усовершенствований, увеличилось и число линий, обслуживаемых по этой системе.

Что касается подвески провода, подводящего ток, и контакта, надо отметить 2 конструкции, резко отличающиеся друг от друга.

1. Система *Шиман* (Max Schiemann, рис. 1), — в ней контакт прижимается снизу к двойному рабочему проводу и при посредстве изолированного шнура заключённая в полую трость энергия подаётся к моторам. Укрепление трости допускает отклонение экипажа от линии провода.

2. Система *Мерседес-Электрик-Штоль* (Mercedes-Electrique-Stoll) — по двойному рабочему проводу катится тележка на 4 колёсиках, соединённая с экипажем посредством изолированного кабеля (рис. 2 и 3). Достаточная длина кабеля, могущего наматываться и сматываться с барабана, укрепленного на экипаже, даёт большую свободу отклонения экипажа от линии рабочего провода, что важно на случай необходимости объехать препятствие на пути. Эта система представляет некоторые преимущества: при скрещении 2 подобных экипажей, движущихся навстречу друг другу, экипажи обмениваются контактами-тележками, благодаря разрезанному кабелю и контактам на экипаже, что производится очень быстро и удобно.



Рис. 1.



Рис. 2.



Рис. 3.

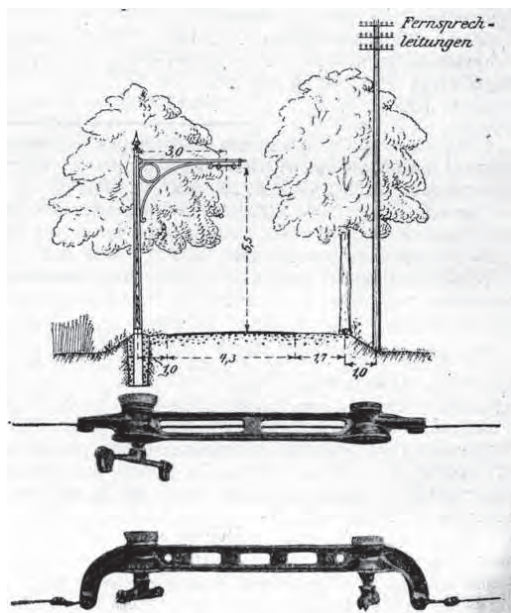


Рис. 4.

При системе 1 один контакт снимается с провода и вновь ставится по проезду экипажа, продолжающего движение.

Вследствие особенностей контакта, подвеска рабочего провода производится в системе 2 иначе, чем в системе 1 (рис. 4 и 5).

Отличаются обе конструкцией и типом устанавливаемых на экипаже электромоторов.

В системе 1 электромотор лёгкий, быстходный с зубчатой передачей к передней оси (рис. 6а). В системе 2 электромотор непосредственно укреплён в колесе задней оси (рис. 6б). Каждая система имеет свои достоинства и недостатки, но обеим присущи: незначительные первоначальные затраты, по сравнению с устройством рельсовых путей с электрической тягой; незначительный вес экипажа и простота управ-

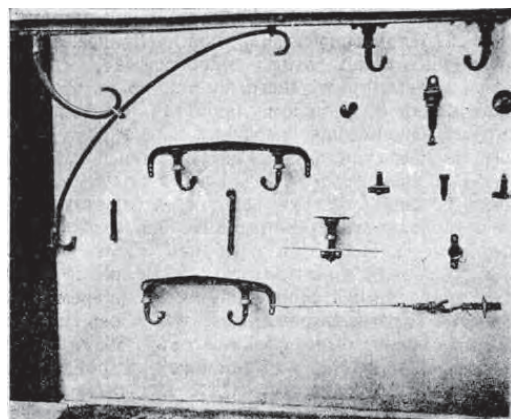


Рис. 5.



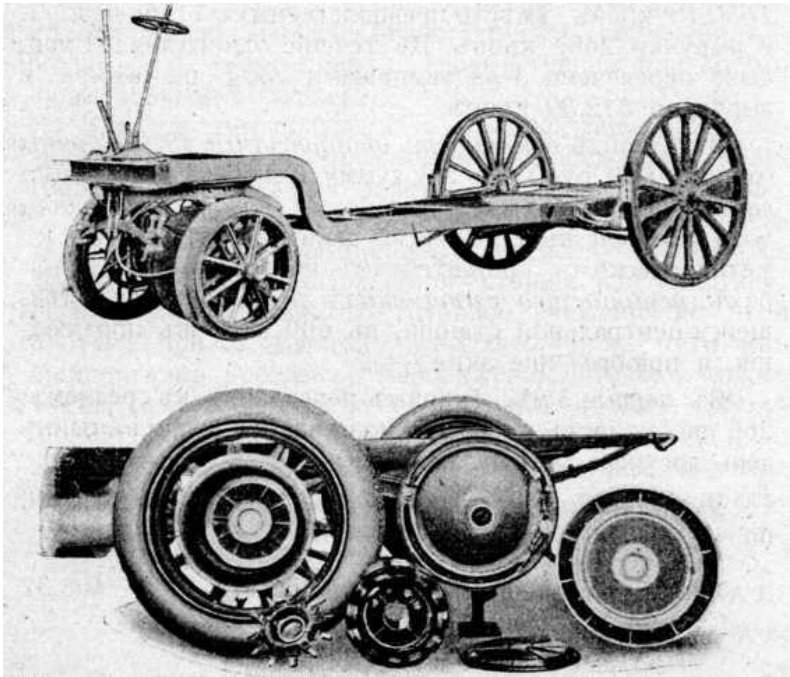


Рис. 6а, б.

Таблица 1

Система М. Шимана

	Начало дей- ствия	Про- тяж.	Мак- сим. подъём	Путь	Пассажирское и товарное	
Лангенфельд—Мангейм (Рейнск. пр.)	Май 1904	4 км	33 ‰	Шоссе	—	
Гревенбрюк—Билштейн Кирхвейштеде (Вестфалия)	Июнь 1904	9 км	57 ‰	Шоссе и булыжная мостовая	2 ваг. 24 м Вес 4,8 тонны Скорость 12 км/ч Тариф 5 пф./км	1 электровоз 6 тонн 5 возов по 2 тонны Скорость 6—8 км/ч
(Charbonnière—les-Bains) Шарбоньер—ле Бэн Южная Франция)	Август 1905	5 км	85 ‰	Шоссе на булыжном основании	2 ваг. 30 м Двиг. 15/22 пл. Вес 3,4 тонны Скорость 15 км/ч	
Нейенар—Арвейлер—Валпорц- гейм (Рейнск. пр.)	Май 1906	5,5 км		Параллельно линии Прусск. казен.жд.	3 ваг. 18 сид. + 2 ст. м Двиг. 15/22 пл. Вес 3,25 тонны Скорость 22 км/ч 3 прицепных х 19 м Вес 1,65 тонны Тариф 5 пф./км	
Миюльгаузен в Эльзасе	Июль 1907	1,7 км	83 ‰	Шоссе, асфальт и бу- лыжная мостовая	4 ваг. х 20 м Двиг. 15/22 пл. Вес 2,8 тонны	
Пирано— Порторозе в Италии	Октябрь 1909	5,7 км	—	По берегу моря пло- тин. дорога	3 ваг. х 20 м Двиг. 15/22 пл. Вес 2,8 тонны 2 прицепных	

ления, а потому и невысокие эксплуатационные расходы, как это явствует из нижеприведённых отчётов. Этим объясняется постепенное распространение обеих систем.

Построенные по системе М. Шимана линии указаны в табл. [1], по системе Мерседес—Штоль в табл. [2]. Результаты эксплуатации одной из линии по системе М. Шимана приведены в табл. [3].

Не менее интересны результаты эксплуатации линии в Гмюнде, работающей

по системе Мерседес—Штоль. Обслуживается сообщение городка с железнодорожной станцией. Первоначальное протяжение — 27 км, 1 экипаж в 16 мест и отделение для почты. За время с 15.VII по 15.X.1907 г. сделано 8030 экипаж-км без ремонта, делая ежедневно с 5 ч. 30 м. утра до 9 ч. 30 м. вечера по 32 рейса, с 1 октября даже по 34, а по воскресным дням до 50 рейсов (по 2,7 км).

За это время перевезены 24304 пассажира, что даёт в среднем $24304:8030 = 3$

Таблица 2

Безрельсовый трамвай системы Мерседес—Штоль

	Нач. действ	Загрязч. капит.	Протязч.	Макс. грузо-подъём	Мест в экипаже	Суточный пробег 1 экипажа	Донане всего сделано	Голов. числ. пасса-жир	Наибольшее число пас./сут. до 10.X.09	Перевезено 2 м не дейст.	На ваг./км	Выручка		Субсидия почт. вед.	Тариф	На км	Стоим. тока за кВт-ч	Расход ваг./км
												Общ.	На ваг./в.					
Гюнцл город—ст. ж.д.	Июль 1907	75000 фр.	3,3 км	40 %	18	100 км	57000 км	90000	1200	160690 2 м не дейст.	3	22815	0,40	2000 фр.	0,20 дети 0,10 раб. 0,06	0,06	0,30 440 в.п.	0,30 кВт-ч
Вейдлинг—ст. ж.д.	Май 1908	170000	3,7	70 %	22	120 190	105000	230000	2800 3 экшп. 510 фр. вы-ручки	285000	2,75	54600	—	2200	0,30 уч. 0,10/0,20	0,06	0,26 500 в.п.	0,29
Пэтшнейндорф—Сальмансдорф	Октябрь 1908	170000	2	90 %	24	лет. 160 зим. 100	61600	—	1950	151000	2,5	28890	0,47	—	0,20 дети 0,10	0,10	0,15 580 в.п.	0,30
Кальсбург—Муннк ст. Южн.ж.д.	Июль 1909	160000	3,8	13 %	22	220 110	30190	63000 в 3 м	2450 3 экшп. 604 фр.	60290	2	12285 в 3 м.	0,40	600	уч. 0,30 0,10 0,15 0,20	0,06	0,20 550 в.п.	0,26
Прессбург	Июль 1909	310000	5,8	80 %	24	—	35282	—	3050 (1200 фр.)	55000	1,60	22275	0,63	—	уч. 0,50 0,20 0,30	0,08	0,14 450 в.п.	0,33
Будвейс 1 эк.	—	—	—	—	24	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Юденбург 1 эк. (4 кол. движущ.)	—	—	2	160 %	18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
База 3,5 м																		
Длина экшп. 4,55 м, р = 2500 кг (22 м), р = 2700 кг (24 м)																		
v = 25–30 км/ч на гориз. v = 14–15 км/ч на подъём.																		
Genie Civil 1910. 8.1. № 10.																		

Примечание: выручка, тариф и стоимость тока во франках, согласно вышеуказанному источнику; расход тока указан более, чем в данных, опубликованных строительной фирмой.



Таблица 3

Neuenahr—Ahrweiler—Walporzheim (Rheinland)
 Оsn. капитал 140000 герм. марок. Ток в 550 V по цене 0,13 кВт-ч. от влад. санатории, расстояние между проводами 0,50 м, q = 50 мм.
 Длина линии = 5,5 км. 3 моторных экипажа по 18 сид., 2 ст. мест, полн. вес 3250 кг, 15/22 п.л. двиг.
 Максим. скорость движения 22 км/ч, 3 прицеппных по 19 мест; полн. вес 1650 кг

	Эксп.-км	Выручка			Расход тока			Эксплуатационные расходы в первые 10 мес. и 7 дней			На экип. — килом.
		Моторных	Прицепных	Итого	Общая	марки	На экип./км	Общий кВт-ч	кВт-ч	На экип./км	
1906											
Май (7 дней)	2187	670	2522	2522	1114,00	0,45		979		0,39	марок
Июнь	7668	4520	9928	9928	3364,60	0,34		3223		0,325	2000
Июль	8117	5100	10667	10667	3835,00	0,36		3389		0,320	8143,38
Август	8510	5208	11114	11114	4088,30	0,372		3421		0,308	
Сентябрь	8231	2638	9550	9550	2913,10	0,304		3515		0,370	3372,65
Октябрь	4525	—	4525	4525	1174,10	0,26		1826		0,404	904,31
Ноябрь	4298	—	4298	4298	946,15	0,22		1710,5		0,400	
Декабрь	3894	—	3894	3894	892,00	0,230		1934		0,496	
1907											
Январь	3927	—	3927	3927	900	0,235		1943		0,504	2319,90
Февраль	3676	—	3676	3676	866	0,236		1860		0,506	1371,22
Март	4137	270	4272	4272	1216,20	0,284		2132		0,498	2
	59170	18406	68373	68373	21309,45	0,312 в средн.		25943,5		0,380 в средн.	
При средней вырубке в 0,312 на экип./км, —0,278 +0,034 на экип./км, а на 68373 x 0,034 = 2320 марок											19031,60
											27,8

пассажира на экипаж-км, полагая, что пассажир совершает весь рейс, число занятых мест = $3 \times 2,7 = 8,1$ в среднем из имевшихся 16-ти. Расход энергии на экипаж-километр составил, при общем расходе электр. энергии за указанное время в 1234 кВт-ч, $1234000:8030 = 153,6$ ватт-часов, а на пассажир-километр $153,6:3 = 51$ ватт-часов.

Трамвайный вагон, катящийся по рельсовому пути, расходует, в среднем, свыше 600 ватт на вагоно-километр (данные русских городов без значительных подъёмов на линии; в Севастополе, напр., таковой расход достигает 800–900 ватт).

Так как число пассажиров, приходящихся на вагоно-километр, составляет 2–6, то расход энергии на пассажира-километр в дорогостоящем трамвае от 100–300 ватт-час, или от 2 до 6 раз более. Это объясняется значительным весом трамвайного вагона, около 8 тонн = 480 пудов. Даже при 18 пассажирах их вес $\frac{1}{6}$ веса вагона.

Аналогичная установка Klosterneuburg–Weidling, в Австрии же, протяжением линии в 3–8 км, при уклонах на части пути в 30 ‰ и 60 ‰, дала расход тока в 173 ватта на экипаж-км, при весе экипажа – 2,44 тонны и 21 месте для пассажиров. При цене тока в 0,26 кроны (около 10 коп.) за кВт-ч стоимость энергии на экипаж-км около 0,045 кроны (менее 2 коп.). Правда, расход на резиновые шины много значительнее, чем на бандажи колёс трамвайного вагона, но в установке Гмюнд после 8000 км пробега не наблюдалось заметного изнашивания; заводчики гарантируют 15000 км, но известны случаи замены лишь после 24000 км. Всё зависит от характера пути, климатических условий и условий езды, т.е. приходится ли часто останавливаться (при торможении возможно скольжение, тронуть с места требует также большого усилия). Первоначальные затраты не велики по сравнению с трамвайным сооружением. В то время как устройство трамвая рельсового в Klosterneuburg–Weidling должно было обойтись в 380 000 крон, стоимость приобретения трёх экипажей, устройство проводки, гаража и т.п. обошлось всего 120 000 крон. Обслуживание, тем не менее, идёт вполне удовлетворительно: при количестве пассажиров в 90 000 при лошадиной тяге, рассчитывали

при улучшенной тяге на 130 000–150 000 пассажиров в год и на выручку в 32000 кроны. Между тем в течение одного месяца (май) перевезено 37549 пассажиров и выручено 7630,10 крон, вместо предполагаемых 11666 пассажиров, и выручки 2666 крон. В течение одного дня (31 мая) было перевезено тремя экипажами 2534 пассажира и выручено 512,30 крон.

В Гмюнде стоимость оборудования 42000 кроны (около 1900 руб.). В эту сумму включена постройка сарая на 4 экипажа, устройство воздушного рабочего провода в 2,7 км, длины, подвешенного к металлическим кронштейнам на деревянных столбах, устройство питающих проводов от имевшейся центральной станции, в 600 метров протяжения, и приобретение экипажа.

В первые 3 мес. экипаж перевозил, в среднем, 265 пассажиров в день; максимальное число в один день достигло 940 пассажиров.

Эксплуатационные расходы за первые 3 мес. (16.VII.—по 15.X.1907).

Жалованье вожатым (в кронах)	408,32
Стоимость электрического тока, получаемого от имеющейся центральной станции по цене 0,30 кроны/кВт-ч, включая освещение:	
Сарая 1284,5 x 0,30.....	385,36
Смазка и обтир. материал	18,02
Работы по сод. и ремонту воздушн. линий	29,64
Билеты, объявления	21
Страховка, на случ. несчаст. с людьми	74,25
« » пожара	2
Взносы в больничную кассу	5,60
Итого	944,19
Затем списано:	
4 % на затрач. капитал.....	420
10 % « погашение стоим. экипажа.....	412,50
5 % « сарая, воздушн. пров.....	319
Изнашив. резиновых шин,	
считая 0,06 кр./км проб.....	480
Итого	1631,50,

а всего расхода 2575,69 или 0,32 кроны на экипаж-километр.

Доходы выразились 3146,46, следовательно + 570,77 (таблица 3) или 5,4 % на затраченный капитал сверх списанных 4 %. В зимнее время движение слабее, но всё же за 9 мес. перевезено 70000; при постройке рассчитывали на 24000 пассажира в год и выручку в 7200 крон.

Вышеприведённые цифры показывают, что подобное предприятие окупается, будучи организовано в самых скромных размерах, следовательно, под силу небольшому городскому управлению.



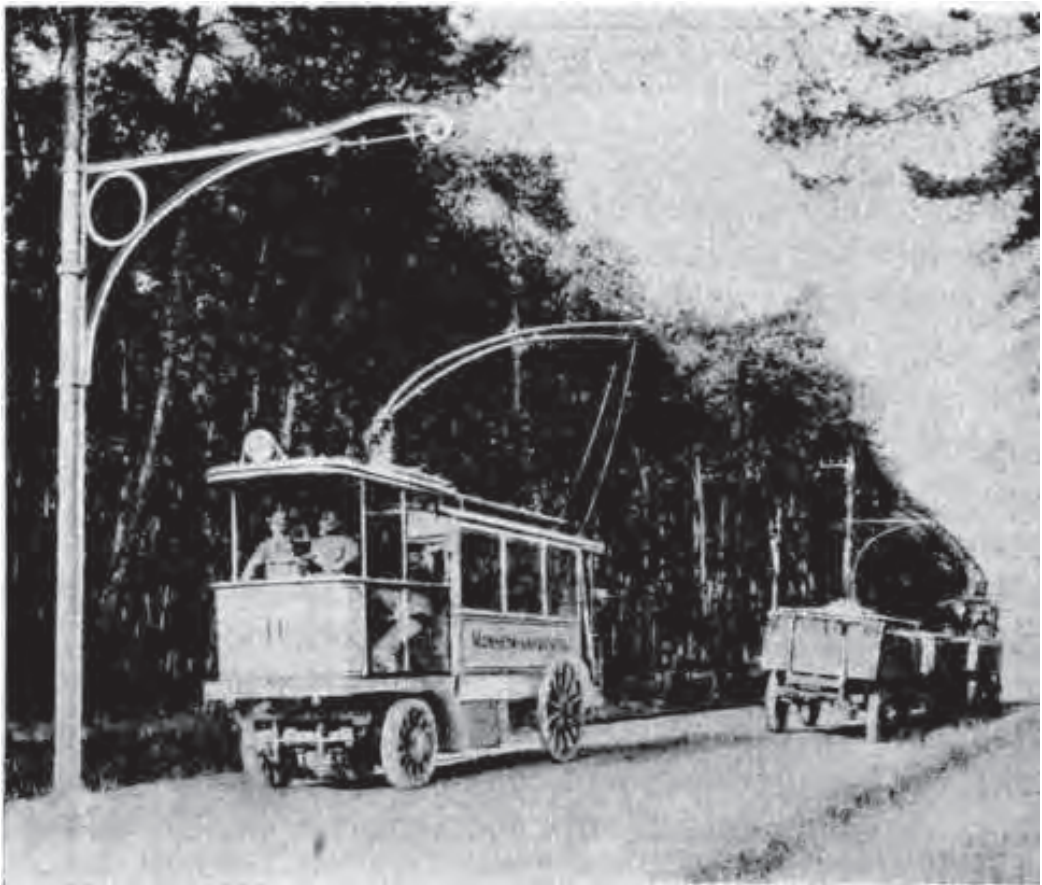


Рис. 7. Линия Лангелфельд–Мангейм. Шоссе из щебня на песчаной подстилке; длина 4 км; наибольший подъем 33 %. Пассажирское и грузовое движение открыто в мае 1904 года. На столбах подвешены провода тока высокого напряжения из Золингена в Мангейм.

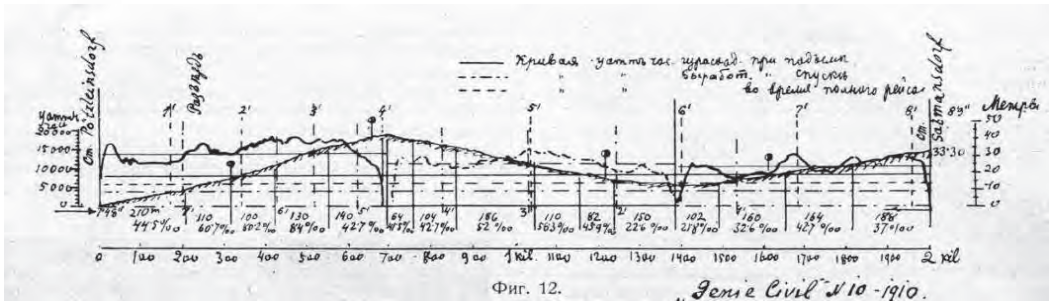


Рис. 8. (воспроизводится оригинальный рисунок).

Доход за 3 мес. (16.VII.—15.X.07) на линии Гмюнд 2,7 км:	
за объявления получено	45 крон
с абонентов	30 крон
12204 билета по 0,10	1220,40
6500 билета по 0,06 рабочих	390
1240 билета по 0,06 (детских)	74,90
4400 билета по 0,20 (приезжие)	880
500 места багажа по 0,20	100
100 места багажа по 0,40	40
За перевозку почты	366,66
Итого	3146,6
	крон

Кроме того, что не требуется значительных затрат на первоначальное оборудование, если имеется станция электрическая; увеличивающийся спрос легко удовлетворяется постепенным увеличением числа экипажей. С другой стороны, если бы выяснилось, что спрос на передвижение недостаточен, сооружение может быть перенесено на другие улицы или дороги без больших затрат.

Таблица 4

	Загородное май–октябрь, 5 экпп.	Городское, круглый год, 60 экпп., 37 мест	Грузовик 5 х 1000 кг и 2500 65 км сут. пробег	Грузов. полоск — лошадиная тяга, 29,5 км сут. пробег	Аккумуляторная каретка, 3 секюка. Общ. вес 1400 кг Сут. пробег 60—70 км Сут. выручка 36 марок 3 моторн., 3 прицепных, 10 месяцев 1 моторн. экипаж, 3 месяца	Электромобиль с воздушным проводом		Электрический трамвай		Конка
						8,4 в. од. пути 120 вёрст (дан- ные предприя- тий)	5 в. дв. пути 148 вёрст (дан- ные предприя- тий)	10,5 од. 90 в. сутон. пробег вагон. в России		
Управление, отчётность	4,8	20	—	—	—	2,9	0	3,071 41 %	5,50	5
Наём помещения	2,73	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Страховка, налоги	7,5	3	4,8	—	—	2	0,89	—	—	—
Прочее	1,07	—	1,6	5,4	—	—	—	—	—	—
Типографск.	1,05	—	—	—	—	—	0,226	—	—	—
Жалование, обмундирование	11	11	11,2	18,4	2 м + 10 % 1 м + 15 %	11,9	4,45	7,35	8,25	8,55
Контроль	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—
Бензин	9,3	8–13	5,2	—	—	—	—	—	—	—
Ток	—	—	корм 12	4 250—300 ватт при цене 8–12 прф. кВт-ч.	4,9	4,20 Сол.	5,331 (41 %) воздуш.	5,82 линии	18,60 конюшня	—
Содержание батарей	—	—	—	—	5–8	—	0,322	0,16	0,4	—
Смазка, освещение	1,44	3	—	—	—	—	0,195	—	—	—
Служба депо	—	1	—	—	—	1,4	—	—	—	—
Ремонт и содержание Запасные части	110,37	12	8,8	7,6	мотор 1,5 кузов 1,5	1,3	?	3,56	4,52	1,86
Содержание пути	—	—	—	—	—	—	—	1,62	1,78	1,05
Шины	10	10–9	—	—	10	3,4	5,22	—	—	—
Стоимость эксплуат. экпп.-км	59,26	51	31,6	43,4	32—35	27,8	15,493	08/09 г. 21,09 09/10 г. 20 23,5	26,27	— 35,062
Головой пробег в экпп.-км	58487	2,000,000	15000	—	18000—20000	68373/10 мес.	—	626,231/2,5	979,406/5,45	727,000/4,4
Списано стоим. экпп. 20 %	29,1	10	3	—	10	17,5	14,3	—	—	—
Инвентаря и обор. 10 %	0,555	—	—	—	—	8	—	—	—	—

- 1) Станция обслуживает одновременно и освещение, а потому 59 % расходов по управлению и производству энергии отнесено на освещение.
2) Gr. Вег. Stg. Берлин: 1890 конная тяга –34,5 расх. +59 выпр., 58,5 % экпл. коэфф.
1906 электр тяга –22,9 5 расх. +42,5 выпр., 53,95 %.
3) Отделённые чертой цифры дают число пассажиров на вагон-версту.



Ток можно получать и от электрической установки в имеющемся промышленном предприятии (мельница, завод, железнодорожные мастерские и т.п.).

Описанная система даёт возможность промышленному предприятию организовать перевозку грузов к ближайшей железнодорожной станции или пристани. Нам пришлось видеть грузовое движение по этой системе при ст. Вурцен (в Саксонии, на пути из Лейпцига в Дрезден). Протяжение пути = 4 км. Имеются 3 электровоза по 6 тонн весом, двухосные; на каждой оси по электромотору; шины металлические 150–200 мм ширины; давление на шины 100–75 кг • см, т.е. в пределах норм, установленных в России.

При подъёмах в 40 % и 50 %, подобный электровоз тянет 3 воза по 5 тонн грузоподъёмности угля или муки.

Скорость движения 6–8 км/час.

Плата 23–27 пфеннига/т • км или около 0,2 коп. за пудоверсту.

При посредстве трёх электровозов, 10 угольных и 27 возов для муки, провоз в среднем около 300 тонн ежедневно, т.е. норма, могущая оправдать проложение рельсового пути, но не всегда возможно получить разрешение на прокладку такового по шоссе общего пользования. Возможно одновременное обслуживание пассажирского и грузового движения (рис. 7).

В заключение надо отметить возможность экономии электрической энергии при движении на линиях горного характера, т.е. со значительными подъёмами и уклонами.

Достаточно установить на экипаж электромотор с шунтовым возбуждением, чтобы энергию, получаемую при движении по уклону, когда мотор начинает работать как генератор, посылать в воздушные провода и утилизировать для движения экипажа, идущего по подъёму. На рис. 8 изображено обслуживание электрической энергией участка в 2 километра.

Резюмируя всё вышеизложенное, мы вправе утверждать, что перевозка, при посредстве электромобилей с воздушным проводом на небольшие расстояния (2–4 километра) является самой дешёвой в смысле эксплуатации (см. табл. 4) и требует наименьших затрат по первоначаль-

ному оборудованию, а потому везде, где имеется мало-мальски сносная дорога, она заслуживает полного внимания для перевозки как пассажиров, так и грузов.

Председатель: Позвольте благодарить докладчика (*аплодисменты*). Может быть, кто-нибудь из присутствующих желал бы получить некоторые разъяснения, в таком случае я просил бы желающих задать вопросы или получить некоторые дополнительные сведения, обратиться к докладчику.

Если желающих нет, то позвольте примкнуть к тому пожеланию, которое высказал докладчик, и, может быть, расширить таковое. Самое важное и желательное это то, чтобы экипаж при помощи той или иной энергии мог бы циркулировать совершенно свободно, чтобы все условия его циркуляции заключались в самом экипаже. Шаг в этом направлении был сделан именно экипажами внутреннего сгорания.

Нас ознакомили с условиями передвижения экипажа, если можно так выразиться, не по рельсовому, а по проволочному пути, расположенному поверх той дороги, по которой катится экипаж.

Думается мне, что, в конце концов, следует желать, чтобы экипажи как перевозочное средство, не были связаны ни со специальными устройствами под собой, понятно, не касаясь устроенной дороги, ни со специальными устройствами над собой для получения движущей силы, а чтобы они были независимыми носителями энергии. Я думаю, что опыты с аппаратами внутреннего сгорания не могут считаться законченными. Теперь электрическую энергию пытаются подводить к перевозочным средствам извне, при помощи проводов. Итальянцы очень удачно назвали этим способом оборудованные дороги — *filovia*, в отличие от железных дорог — *ferrovia*.

Я думаю, в будущем никаких *filovia* не потребуется для подводки энергии. Мне кажется, что в этом дальнейшая задача электротехники, и она, несомненно, получит своё решение, и только тогда перевозочные средства будут свободно, собственной энергией циркулировать по дорогам.

Объявляю заседание закрытым.

(Железнодорожное дело. — 1910. — № 43. — С. 171–185)●



NEWS FROM THE ARCHIVES

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-212-232>



The publication reproduces with some abridgement but keeping as far as possible author's lexical means and style the report of I. V. Shirman at the meeting of the 8th Department of Imperial Russian Technical Society on March 4, 1910, chaired by O. A. Struve. The meeting discussed engineering and economic issues of operation of transport vehicles using electric traction and the most promising at that time, the idea of autonomously powered passenger systems was also highlighted.

Keywords: transport, history of transport, electric transport, railless systems.

For the original Russian text of the article please see p. 212.

The editorial board expresses gratitude to the staff of the library of Russian University of Transport for the kind assistance in preparing the publication.

THE MOVEMENT OF PASSENGERS AND GOODS ALONG A RAILLESS TRACK

Carriages with electric batteries turned out to be more suitable for driving on a railless track and, despite the energy losses associated with the sequential charging and discharging of the battery and rapid wear of the electrodes, there are conditions when their use is fully justified, as we will see below.

Even more profitable, however, is the direct supply of electrical energy by means of the upper wire (double – for supply and return of energy) to electric motors suspended on the axles of the carriage, if the length of the lines is limited to 3–4 kilometres and the direction of movement is quite definite once and for all. In the future, we will move on to considering these 2 types, starting with a battery electric carriage, which has the advantage of freedom of movement in any direction for up to 75 kilometres without a new charge.

Carriages of this kind first appeared in 1898 with the Krieger systems in Paris (see Sieg's article in E. T. Z. 1908 No. 52 and 53). Since then, many improvements have been made to

the design details, but the main element – *the battery* – still awaits final improvement.

The lead elements and sulfuric acid solution used so far represent a rather significant weight, namely 1 kilogram per 7,5 watt-hours of production; there is a construction weighing 1 kilogram for 30 watt-hours of performance (see J. C.), but such relief is achieved at the expense of durability, which is not great at all.

When battery vehicles move along a rail track, where there are fewer shocks, the plates serve no more than 100000 kilometres on average: positive ones 100–120000, negative ones – no more than 60000.

When driving on a railless track, the service life should undoubtedly decrease.

So-called alkaline batteries with zinc or iron-nickel electrodes have not yet come true; the electric motor force of such an element is only 1,2 volts, while acidic one [attains] 2 volts. The return rate is only 50 % in the former, while in the latter it reaches 75 %. Their cost is also higher. In America, Edison battery tests continue, it was very promising





Pic. 1.

at one time, but the final improvement is still far away.

As for motors, 2 types are used:

1. *High-speed lightweight, suspended from a frame with a gear or chain drive to the drive axle...*

It is preferable to have the rear axle as the driving axle – there is less chance of damage, and the front axle is then made with each wheel turning separately, as in gasoline cars.

2. *Low-speed – 150–250 rpm, directly connected to the wheel.*

Presenting some advantages due to the lack of transmission, motors of this design are large, easily damaged in a collision, and much heavier. The winding is sequential or shunt, i.e., excitation in the branching; the latter is justified in areas with intermittent inclines and rises.

We will not go into the details of the design, as the purpose of the post is to find out the cost of operation. This was determined in some cases of application of the described system by the following figures.

1. Fire-pump vehicle in Berlin, yearly run = 1500 km.

		Per 1 km
Costs of battery maintenance	31,50	28 Pfg.
Power recharging	391,73	
423,23 mark		
Motor, control gear maintenance, cable	30	2
Lubrication	12	0,8
Rubber tires	457	30,4
Device to avoid slipping	4	
(«Derapant»)	100	6,65
Body repair	45	3
Miscellaneous (including charge about 600 kW h.)	137,77	9,15
Total	1205 mark	80 Pfg.
and for 4 pumps in total	4820 mark	
with steam traction	6920	
with horse traction	17281	
following insignificant yearly run but the need to keep the horses all-the-year-round.		

The weight of such a coach is of 4,5 t, the speed on the dry asphalt road attained 36 km/h.

The energy consumption was $(68 \text{ A} \times 145 \text{ V}) / (36 \times 4,5) = 56,4 \text{ W-h/t} \cdot \text{km}$ and consumption per kilometre of run $56,4 \times 4,5 = \infty 254 \text{ c.-h.}$, and charging current, counting the output coefficient = $75 \% \infty 340$. «The vehicle could go 86 kilometres to complete exhaustion (counting $56,4: 0,75 = 76 \text{ watt-hours/tonne} \cdot \text{km}$, in reality, on average, 97 watt-hours/tonne $\cdot \text{km}$)» (see article Sieg l.c.).

A similar carriage of a fire-fighting wagon train in Dusseldorf gave a consumption of 59,6 watt-hours on wet asphalt at $v = 36 \text{ km/h}$ and strong winds.

At $v = 18 \text{ km/h}$ energy consumption dropped to 41,5 watt-hours/tonne $\cdot \text{km}$.

The carriage made a run of 108 km and the battery was not yet exhausted.

The carriage overcame slopes up to 100 ‰ at a speed of 18 km/h, did not stop in the snow, etc.

2. *Carriages for transportation of patients.*

In Cologne, the daily mileage is about 50 km;	
annual maintenance	7200 marks;
with horse traction it was	9400 marks.
In Harlaching near Munich it overcomes a slope of 170 ‰ per 600 meters;	
annual maintenance	4360 marks;
with horse traction	5548.

3. *Carriages for collecting letters from mailboxes also proved to be profitable in operation.*

We also provide data on operation of street carriages, with the pavements in good condition.

In Berlin, there is a large enterprise of this kind Bedag (Berliner-Elektromobil-Droschken A. G.) with a capital of $2 \cdot 10^6$ marks.

Revenues and expenses for this enterprise were expressed in the following figures: (E. T. Z. 08. No. 28):

Revenue: 5 months of 1907	5 months of 1908
390000 Marks (36,39)	895000 (36,80 vehicle- day).
Costs	-615000
.....	+280000

Due to the lack of exhaust odour, fire safety, less shaking from the electric motor and more convenient handling, such carriages, according to many, should replace gasoline cars in the field of traffic, but the decisive factor is the cost of operation.

Although maintenance of an electric motor is cheaper than maintenance of an internal combustion engine, consumption of the battery

is still quite high, and the costs of charging current are high.

At first, when the maximum speed of movement was limited to 15 km-hours, the weight of the carriage did not exceed 1400 kilograms, including 3 riders, and the battery maintenance, current consumption and tires were less than now in carriages that could reach speeds of up to 25 km/h and weighing 2000 kilograms and more.

Solid rubber tires are unsuitable for this speed, pneumatic tires are needed; and this, in turn, increases consumption of work, as the table below shows:

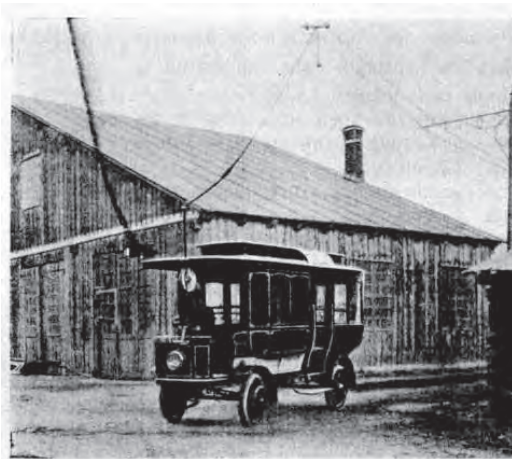
*	Front wheels	Rear wheels	Consumption watt-hour carriage-km
1	Solid rubber	I Pneumatic tire with «derapant»	179 watt-hour
2	Pneumatic tires		162 watt-hour
3	Solid rubber	I Solid rubber II	148 watt-hour
4	« »	II Pneumatic tires	131 watt-hour
5	« »	II Solid rubber II	116 watt-hour

Ratio 1: 5 = 1,5.
Costs per carriage-kilometre is now identified in Germany by the figures that follow:
1. Rubber tires 10 Pfg.
2. Average battery (form 5 through 8) maintenance 6 Pfg.
3. Current for charging, counting 250–300 watt-hour
and 8–12 Pfg. km/h 4 Pfg.
4. Motor and control gear maintenance, cables 1,5 Pfg.
5. Body and springs maintenance, etc 1,5 Pfg.
Total carriage-km 23 Pfg.

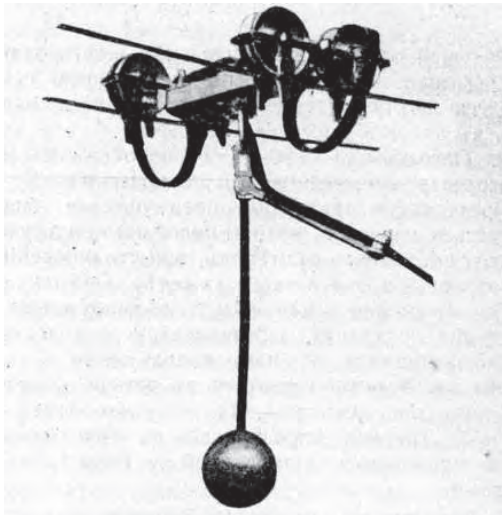
A driver receives 2 marks, or 1 mark and a certain % of the gross revenue, which can be up to 6 marks on average or, with a daily mileage of 60–70 kilometres, another 10 Pfg. So, it means the total of 33 pfennigs/carriage-km. To this figure must be added the costs of maintaining the garage, % of the capital spent, repayment, insurance, taxes.

Costs are generally not much higher than for petrol vehicles. The disadvantage is the dependence on the station where the charging takes place, and the loss of time for this charging. But, as we have seen, there are special cases when the use of such carriages is beneficial, although they are not as versatile as gasoline cars. The carriages, which receive energy from the overhead wire, are even more constrained, but their operation is so cheap that the use of such vehicles is justified in many cases, as experience has shown.

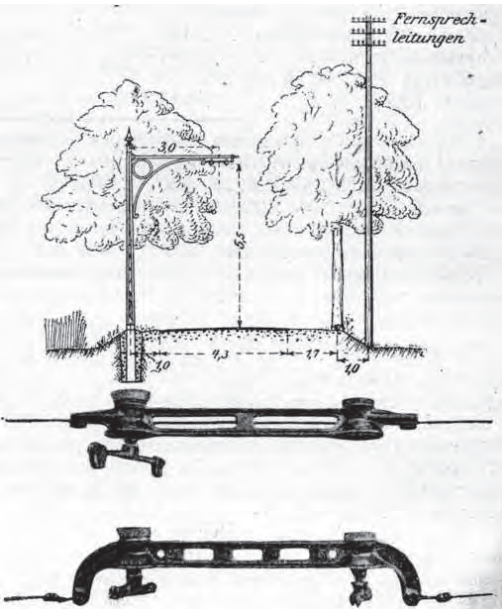
V. P. Shubersky first reported in the Russian literature about such carriages (see the Journal of the Ministry of Transport for 1902, No. 4 and 5). Since then, many improvements have been made, and the number of lines served by this system has also increased.



Pic. 2

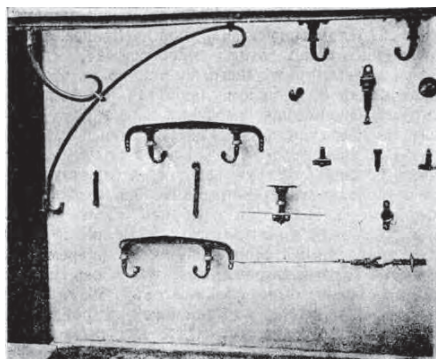


Pic. 3.

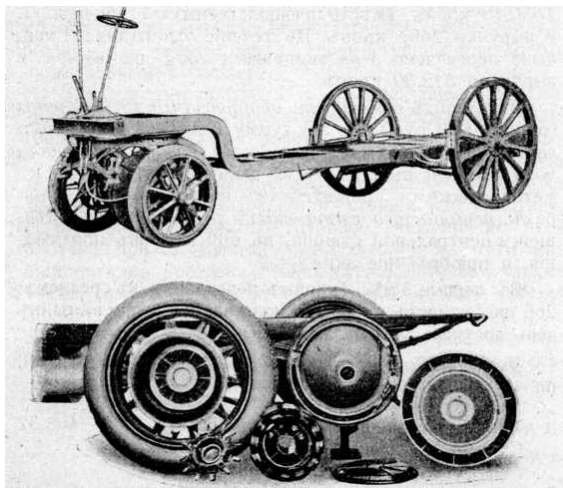


Pic. 4.





Pic. 5.



Pic. 6 a, b.

As for suspension of the current supply wire and the contact, 2 designs should be noted that are sharply different from each other.

1. Schiemann system (Max Schiemann, Pic. 1), — in it, the contact is pressed from below to the double working wire and through an insulated cord, enclosed in a hollow cane, energy is supplied to the motors. Reinforcement of the cane allows the carriage to deviate from the wire line.

2. Mercedes—Electric—Stoll system — a trolley on 4 wheels, connected to the carriage by means of an insulated cable, rolls along a double working wire (Pics. 2 and 3). A sufficient length of cable that can be wound and unwound from a drum attached to the carriage gives the carriage more freedom to deviate from the line of the working wire, which is important in case it is necessary to make detour of an obstacle on the way. This system has some advantages: when 2 similar carriages are crossing, moving towards each other, the carriages exchange trolley contacts,

thanks to the cut cable and the contacts on the carriage, which is very quick and convenient.

With system 1 one contact is removed from the wire and again placed along the passage of the carriage continuing to move.

Due to the peculiarities of the contact, the suspension of the working wire is made in the 2nd system differently than in the 1st system (Pics. 4 and 5).

Both differ in the design and type of electric motors installed on the carriage.

In the 1st system, the electric motor is light, high-speed with a gear drive connected to the front axle (Pic. 6a). In the 2nd system, the electric motor is directly attached to the rear axle wheel (Pic. 6b). Each system has its own advantages and disadvantages, but both are inherent in: insignificant initial costs, in comparison with arrangement of railways with electric traction; low weight of the carriage and ease of management, and therefore low operating costs, as it is evident from the reports

Table 1

M. Schiemann System

	First operated	Length	Maximum slope (grade)	Road	Passenger and cargo	
Langenfeld–Mannheim (Rheinland)	May 1904	4 km	33 ‰	Highway	–	
Grevenbrück–Bilstein–Kirchveischede (Westfalen)	June 1904	9 km	57 ‰	Highway and cobblestone pavement	2 carriages, 24 places. Weight 4,8 tonnes. Speed 12 km/h. Tariff 5 Pfg./km	1 electric locomotive. 6 tonnes. 5 carts, 2 tonnes each. Speed 6–8 km/h
Charbonnières–les-Bains, Sud de France	August 1905	5 km	85 ‰	Highway with cobblestone base	2 wagons, 30 places Engines 15/22 r.l. Weight 3,4 tonnes. Speed 15 km/h	
Neuenahr–Ahrweiler–Walporzheim (Rheinland)	May 1906	5,5 km	Parallel to the line of Prussian state railway		3 wagons, 18 seats + 2 standing places. Engines 15/22 r.l. Weight 3,25 tonnes. Speed 22 km/h, 3 trailer wagons x 19 places. Weight 1,65 tonnes. Tariff 5 Pfg./km	
Mülhausen [now Mulhouse], Alsace	July 1907	1,7 km	83 ‰	Highway, asphalt, cobblestone pavement	4 wagons x 20 places. Engines 15/22 r.l. Weight 2,8 tonnes	
Pirano–Porto Rose in Italy [now Piran–Portorožin Slovenia]	October 1909	5,7 km	–	Dam road along the seacoast	3 wagons x 20 places. Engines 15/22 r.l. Weight 2,8 tonnes. 2 trailer wagons	

below. This explains the gradual spread of both systems.

The lines constructed according to the M. Schiemann system are indicated in Table [1], those built according to system Mercedes-Stoll – in the Table [2]. The results of operation of one of the lines of M. Schiemann system are given in Table [3].

No less interesting are the results of operation of the line in Gmünd, which operates according to the Mercedes-Stoll system. The communication of the town with the railway station is served. Initial length = 27 km, [there is] 1 vehicle with 16 seats and a post compartment. During the time from 15th July to 15th October 1907, 8030 carriage-km were made without repairs, making every day from 5:30 am to 9:30 pm 32 trips, from October 1 even 34 trips, and on Sundays up to 50 trips (2,7 km).

During this time, 24304 passengers were transported, which gives an average of 24304:8030 = 3 passengers per carriage-km. Assuming that the passenger completes the entire trip, the number of occupied seats = 3 x 2,7 = 8,1 on average out of the 16 available. The energy consumption per carriage-km was, with the total consumption of electricity energy for the specified time in 1234 kW-h, 1234000:8030 = 153,6 watt-hours, and per passenger-kilometre: 153,6:3 = 51 watt-hours.

A tram car, rolling on a rail track, consumes, on average, over 600 watt per car-kilometre (data from Russian cities without significant rises on the line; in Sevastopol, for example, this consumption reaches 800–900 watt).

Since the number of passengers per car-kilometre is 2–6, the energy consumption per passenger-kilometre in a more expensive tram is from 100–300 watt-hours, or from 2 to 6 times more. This is due to the significant weight of tram car, about 8 tonnes = 480 poods [pood = 16 kg]. Even with 18 passengers, their weight is 1/6 of the weight of the car.

A similar facility Klosterneuburg–Weidling, in Austria, with a line length of 3–8 km, with slopes on the part of the track of 30 ‰ and 60 ‰, gave a current consumption of 173 watt per carriage-kilometre, with a carriage weight of 2,44 tonnes and 21 seats for passengers. With a current price of 0,26 kronen (about 10 kopecks) per kW-h the cost of energy per carriage-kilometre is about 0,045 kronen (less than 2 kopecks). True, the consumption rate for rubber tires is much more significant than for wheel rims of a tram car, but in the Gmünd facility after 8000 kilometre run no noticeable wear was observed; manufacturers guarantee 15000 km, but there are known cases of replacement only after 24000 km. It all depends on the nature of the track, climatic conditions and driving conditions, that is, whether you have to stop often (when braking sliding is possible,





Railless tram of Mercedes–Stoll system

Note: revenue, tariff, current price are presented in Francs, according to the source, current consumption is indicated larger than in documents published by construction companies.

moving from rest also requires a lot of effort). The initial costs are not high compared to a tram structure. While the installation of a rail tram in Klosterneuburg—Weidling was supposed to cost 380000 kroons, the cost of purchasing 3 carriages, installation of wiring, a garage, etc. cost only 120000 kronen. The service is nevertheless going quite satisfactorily: with the number of passengers at 90000 with horse traction, with an improved traction 130000—150000 passengers per year and a revenue of 32000 kronen were awaited. Meanwhile, within one month (May), 37549 passengers were transported and 7630,10 kronen were accounted, instead of the estimated 11666 passengers and 2666 kronen. During a single day (May 31), 2534 passengers were transported by 3 carriages and 512,30 kronen were raised.

In Gmünd, the cost of equipment is 42000 kronen (about 1900 rubles). This amount includes the construction of a shed for 4 carriages, the installation of an overhead working wire of 2,7 km of length suspended with metal brackets on wooden poles, the installation of supply wires from the existing central station, 600 meters in length, and acquisition of a vehicle.

In the first 3 months the carriage carried an average of 265 passengers per day; the maximum number during a single day reached 940 passengers.

Operating costs for the first 3 months (July 16—October 15 1907).

Drivers' salary (in kronen)	408,32
Cost of electricity current received from the existing central plant at the price 0,30 kronen / kW-h, including lighting of:	
the shed 1284,5 x 0,30.....	385,36
Grease and lubricating material.....	18,02
Maintenance and repair of overhead lines.....	29,64
Tickets, advertising	21
Insurance in case of accidents with people.....	74,25
« « in case of fire	2
Health insurance premium payment.....	5,60
Total	944,19
Then written off:	
4 % for spent capital	420
10 % for spent capital on repayment of cost of the vehicle	412,50
5 % for spent capital regarding the shed, overhead lines.....	319
Wear of rubber tires, counting 0,06 kronen / km of run	480
Total	1631,50

and total expenses 2575,69 or 0,32 kronen per carriage-km.

Incomes were expressed as 3146,46, hence + 570,77 or 5,4 % on the capital spent in excess

of the written off 4 %. In winter, movement is weaker, but still for 9 months 70000 passengers were transported; during construction they counted on 24000 passengers per year and a revenue of 7200 kronen.

The above figures show that such an enterprise pays off, being organized in the most modest size, therefore, within the power of a small city government.

Revenue for 3 months (July 16 — October 15, 1907) at Gmünd line of 2,7 km:	
For announcement	45 kronen
From subscribers	30 kronen
12204 tickets, 0,10 each	1220,40
6500 tickets, 0,06 each (workers).....	390
1240 tickets, 0,06 each (children).....	74,90
4400 tickets, 0,20 each (non-residents)	880
500 pc. of luggage, 0,20 each	100
100 pc. of luggage, 0,40 each.....	40
For transportation of post	366,66
Total	3146,6 kronen

In addition, significant costs for the initial equipment are not required if there is an electric plant; the increasing demand is easily met by a gradual increase in the number of carriages. On the other hand, if it were found that the demand for movement is insufficient, the structure can be moved to other streets or roads without great expense.

The current can be obtained from an electrical installation in an existing industrial enterprise (mill, factory, railway workshops, etc.).

The described system enables an industrial enterprise to organize transportation of goods to the nearest railway station or pier. We had to see freight traffic on this system at st. Wurzen (in Saxony, on the way from Leipzig to Dresden). Track length = 4 km. There are 3 electric locomotives of 6 tonnes in weight,



Pic. 7. Line Langenfeld-Mannheim. A highway of crushed stone on a sandy mat; length 4 km; the highest rise is 33 %. Passenger and freight traffic was opened in May 1904. There are also high voltage wires from Solingen to Mannheim suspended from the poles.



Table 3

Results of operation of a line with M. Schiemann system
Neuenahr–Ahrweiler–Walporzheim (Rheinland)

Fixed capital 140000 German marks. Current of 550 V, at the price of 0,13 per kW-h. supplied from the owner of a sanatorium, distance between wires is of 0,50 m, q = 50 mm. The length of the line = 5,5 km.

3 motorised carriages with 18 sitting and 2 standing places; full weight is 3250 kg, 15/22 r.l. engine.

Max. speed is 22 km/h. 3 trailers with 19 seats each and full weight of 1650 kg.

	Carriage/km	Revenue		Current consumption		Operation costs during first 10 months and 7 days		Per carriage/ km
		Total	Trailers	Total	Per carriage /km	Total	Per carriage /km	
1906	Motorised							
May (7 days)	2187		670	2522		1114,00	0,45	
June	7668		4520	9928		3364,60	0,34	
July	8117		5100	10667		3835,00	0,36	
August	8510		5208	11114		4088,30	0,372	
September	8231		2638	9550		2913,10	0,304	
October	4525		—	4525		1174,10	0,26	
November	4298		—	4298		946,15	0,22	
December	3894		—	3894		892,00	0,230	
1907								
January	3927		—	3927		900	0,235	
February	3676		—	3676		866	0,236	
March	4137		270	4272		1216,20	0,284	
	59170		18406	68373		21309,45	0,312 average	
With average revenue of 0,312 per carriage/km –0,278 +0,034 per carriage/km, and 68373 x 0,034 = 2320 marks								27,8

Table 4

	Suburban traffic, May–October, 5 carriages	Urban traffic, all-the-year-round, 60 carriages, 37 seats	Cargo 5 x 1000 kg and 2500 kg	Cargo, horse traction, 29,5 km daily mileage	Cart with battery, 3 riders, total weight 1400 kg, daily mileage 60–70 km, revenue 36 marks	Electric vehicle with air wire		Electric tram		Horse tram
						3 motorised, 3 trailers, 10 months	1 motorised, 3 months	8,4 on single track 120 vests, information of enterprises	5 on double track 148 vests, information of enterprises	10,5 on single track, 90 vests of daily mileage, Russia
Management	4,8	20	—	—	—	2,9	0	3,07 ¹ 41 %	5,50	5
Lease of premises	2,73	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Insurance, taxes	7,5	3	4,8	—	—	2	0,89	—	—	—
Miscellaneous	1,07	—	1,6	5,4	—	—	—	—	—	—
Print works	1,05	—	—	—	—	—	0,226	—	—	—
Wages	11	11	11,2	18,4	2 months + 10 % 1 month + 15 %	11,9	4,45	7,35	8,25	8,55
Supervision	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—
Petrol	9,3	8–13	5,2	—	—	—	—	—	—	—
Current	—	—	—	корм 12	4 250–300 W at 8–12 Ptg. Per kW-h.	4,9	4,20 maint.	5,33 ¹ (41 %) air	5,82 cables	18,60 stable
Battery maintenance	—	—	—	—	5–8	—	0,322	0,16	0,4	—
Lubrication, light	1,44	3	—	—	—	—	0,195	—	—	—
Depot service	—	1	—	—	—	1,4	—	—	—	—
Repair and maintenance, spare parts	J 10,37	12	8,8	7,6	motor 1,5 body 1,5	3 1,3	?	3,56	4,52	1,86
Track maintenance	—	—	—	—	—	—	—	1,62	1,78	1,05
Tires	10	10–9	—	—	10	3,4	5,22	—	—	—
Operation costs, carriage/km	59,26	51	31,6	43,4	32–35	27,8	15,493	08/09 years: 21,09 09/10 years: 20 23,5	26,27 23,5	— 35,06 ²
Year mileage, carriage/km	58487	2,000,000	15000	—	18000–20000	68373/10 months	—	626,231/2,5	979,406/5,45	727,000/4,4
Written-off, 20 %	29,1	10	3	—	10	17,5	14,3	—	—	—
Equipment, 10 %	0,555	—	—	—	—	8	—	—	—	—

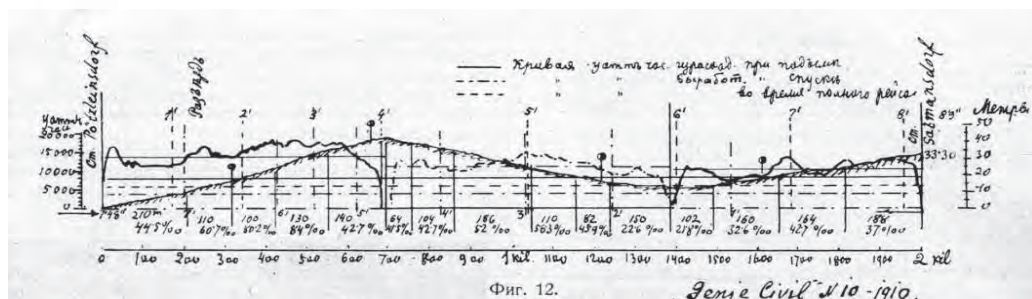
1) Station also provides lighting, so 59 % of management and energy generation costs are referred as being used for lighting.

2) Gr. Ber. Str. (Berlin): 1890 horse traction – 34,5 costs + 59 revenue, 58,5 % operation rate.

1906 electric traction – 22,9 5 costs. + 42,5 revenue, 53,95 %.

3) Figures separated by a slash show number of passengers per carriage-verst.





Pic. 8. [The original picture is reproduced as illustration].

biaxial; on each axle there is an electric motor of 25; metal tires of 150–200 mm width; pressure on tires is 100–75 kilogram-centimetres, i.e. within the limits of the norms established in Russia.

With rises of 40 ‰ and 50 ‰, such an electric locomotive pulls 3 carts of 5 tonnes of coal or flour carrying capacity.

The speed of movement is 6–8 km/hour.

See 23–27 pfennig/tonne-km, or about 0,2 kopecks for pood-verst [16 kg-1/0668 km].

With the help of 3 electric locomotives, 10 coal wagons and 27 wagons for flour are transported; daily transportation, on average, is about 300 tonnes, i.e., it is a standard freightage that can justify the laying of rail track, but it is not always possible to receive permission to lay rail track on the highway of general use. Simultaneous servicing of passenger and freight traffic is possible (Pic. 7).

In conclusion, possibility should be noted of saving electrical energy when driving on mountain lines, that is, with significant ups and downs.

It is enough to install an electric motor with shunt excitation on the carriage, so that the energy obtained when driving on an incline, when the motor starts to work as a generator, is sent into the overhead wires and utilized for the movement of the carriage going up the ascent. Pic. 8 depicts maintenance of electric energy on a site of 2 kilometres.

Summarizing all of the above, we have the right to assert that transportation, by means of electric vehicles with an overhead wire, over short distances (2–4 kilometres) is the cheapest in terms of operation and requires the lowest costs for initial equipment, and therefore wherever there is a more or less good road, it deserves full attention for transportation of both passengers and goods.

Chairman. Let me thank the speaker (applause). Maybe someone present would like to receive some clarification, in which case I would ask those who wish to ask questions or get some additional information, contact the speaker.

If there are no volunteers, then let me adhere to the wishes expressed by the speaker, and, perhaps, expand it. The most important and desirable thing is that the carriage, with the help of this or that energy, could circulate completely freely, so that all the conditions of its circulation are contained in the carriage itself. It was the internal combustion carriages that made a step in this direction.

We were familiarized with the conditions of movement of the carriage, so to speak, not along the rail, but along the wire track located on top of the road along which the carriage is rolling.

It seems to me that in the end one should wish that the carriages, as a means of transport, were not connected either with special devices under them, of course, without touching the arranged road, or with special devices above them to obtain driving force, but that they were independent carriers of energy. I think that experiments with internal combustion devices cannot be considered complete. Now they are trying to supply electrical energy to vehicles from the outside, using wires. The Italians very aptly called the roads equipped with this method – *filovia*, as opposed to railways – *ferrovia*.

I think in the future no *filovia* will be needed to supply energy. It seems to me that this is the further task of electrical engineering, and it will undoubtedly receive its solution, and only then the means of transportation will circulate freely along the roads with their own energy.

I declare this meeting closed.

(**Zheleznodorozhnoe Delo**
[Railway Business],
1910, No. 43, pp. 171–185) ●



ГАЛЛЕРЕЯ ИМЕН 234

Книга о Сергее Витте:
веская причина вспомнить
о важных вехах российской
железнодорожной истории.



АВТОРЕФЕРАТЫ 242

- Эффективность дистанции сигнализации, централизации и блокировки.
- Конструкция кузова пассажирского вагона из экструдированных алюминиевых панелей.
- Энергоэффективные электроприводы с асинхронными двигателями для магистральных локомотивов.
- Теория линейных тяговых устройств высокоскоростного магнитолевитационного транспорта.
- Грузовое автотранспортное предприятие в условиях неопределённости развития.

НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ 255

Научные и учебные издания
российских издательств.

GALLERY OF NAMES 238

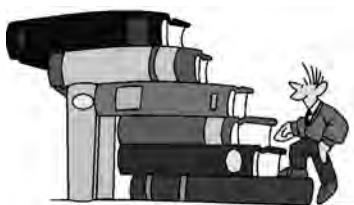
The book about Sergey Witte:
a good reason to reminisce
about significant milestones in
the history of Russian railways.

SELECTED ABSTRACTS OF D.SC. & PH.D. THESES 248

- Efficiency of planning and production activity of centralised signalling and block section unit.
- Energy-efficient electric drives with asynchronous motors for mainline locomotives.
- Theory of linear traction devices for high-speed maglev.
- Operations of a freight motor transport enterprise under conditions of uncertainty.
- Design of a body of a passenger car made of extruded aluminium panels.

NEW BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION 256

New textbooks and scientific
editions offered by Russian
publishing houses.





Реформатор железных дорог и страны



Шапкин Игорь Николаевич – Российский университет транспорта, Москва, Россия.*

Игорь ШАПКИН

Левин Д. Ю. С. Ю. Витте – железнодорожник, выдающийся государственный деятель. – М.: УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте, 2020. – 376 с. ISBN 978-5-907206-02-1.

Книги о «выдающемся железнодорожнике № 1» издаются довольно часто, тем более что в 2019 году отмечалось его 170-летие. Личность Сергея Юльевича Витте всегда притягивала знатоков и любителей русской истории. Новая книга

Дмитрия Левина «С. Ю. Витте – железнодорожник, выдающийся государственный деятель» о нём, реформаторе, начавшем карьеру на железной дороге. Автор первого Устава железных дорог, создатель теории тарифов, инициатор реформы строительства и эксплуатации железных дорог, фактический руководитель строительства Транссибирской магистрали, ставший политиком, государственным деятелем, дипломатом, финансистом – это малая часть того, что успел сделать Витте для страны.

Ключевые слова: С. Ю. Витте, железная дорога, теория тарифов, Устав железных дорог, Великий Сибирский путь.

*Информация об авторе:

Шапкин Игорь Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры управления эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте Российского университета транспорта, Москва, Россия, shapkin05@mail.ru.

Рецензия поступила в редакцию 16.10.2020, принята к публикации 05.11.2020.

For the English text of the article please see p. 238.

В предисловии к книге отмечено, что Витте оставил яркий след в истории страны, жизни российского общества. Оценивая масштаб личности, следует говорить о нём как о крупном государственном деятеле России, человеке выдающегося ума, воли и энергии, организаторе, способствовавшем в сложный переходный период пореформенной России подъёму производительных сил, эволюции социально-экономической системы общества. С. Ю. Витте предложил и во многом успешно реализовал свои взгляды на преодоление отсталости, модернизации России на рельсах рыночной экономики с государством в роли локомотива.

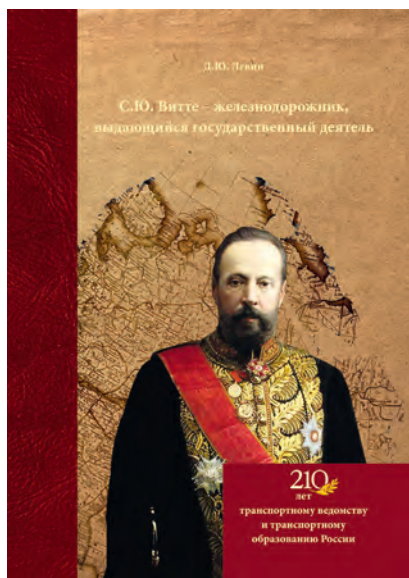
С. Ю. Витте родился 17 июня 1849 г. в Тифлисе в дворянской семье. После окончания гимназии он поступил на физико-математический факультет Одесского филиала Новороссийского университета. После окончания обучения С. Ю. Витте хотел остаться в университете и стать профессором. Но под влиянием его матери и дяди, министр путей сообщения, граф В. А. Бобринский уговорил юного Витте делать карьеру на железной дороге.

Начав с должности кассира, продолжив конторщиком, контролёром, ревизором движения и начальником станции, С. Ю. Витте довольно быстро поднимался по служебной лестнице и был назначен начальником конторы движения Одесской железной дороги.

Во времена начала строительства и развития железнодорожного транспорта Одесская железная дорога состояла из нескольких участков от Одессы до Балты. Для полноты картины автор книги на материале своей работы «Развитие железных дорог России в XIX веке» показал дальнейшее развитие Одесской и Юго-Западной железной дороги, на которой позже работал С. Ю. Витте.

Возглавляя Одесскую железную дорогу, Витте проявил незаурядные творческие способности, предложив новое обслуживание паровозов машинистами, увеличив размеры движения поездов при дефиците пропускной способности, решив во время Русско-турецкой войны проблему перевозки раненых.

После окончания войны в 1878 г. Одесская железная дорога была объединена с не-



сколькими другими дорогами, образовалось Общество Юго-Западных железных дорог. С. Ю. Витте получил место начальника эксплуатационного отдела Юго-Западных железных дорог. 16 февраля 1880 года С. Ю. Витте был назначен начальником службы эксплуатации Юго-Западных железных дорог, а позже — управляющим дорог.

Главной задачей молодого начальника было увеличение эксплуатационных доходов. Эту задачу он решил в период 1881 по 1885 гг. Чистый доход Общества от эксплуатации его дорог вырос с 4 млн 300 тыс. руб. до 13 млн 600 тыс. руб., или в три с лишним раза.

Такой результат был достигнут благодаря гибкой тарифной политике. Обобщая результаты своей деятельности, С. Ю. Витте написал книгу «Принципы железнодорожных тарифов по перевозке грузов», изданную в 1884 г. в Киеве и переизданную в Париже в 1910 г.

Участвуя в высочайше учреждённой Комиссии для исследования железнодорожного дела в России под председательством графа Э. Т. Баранова, С. Ю. Витте разработал проект Устава русских железных дорог, который был одобрен Государственным советом и 12 июня 1885 г. утверждён императором.

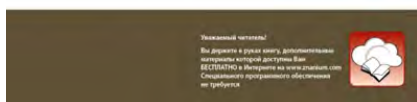
8 марта 1889 г. после утверждения Александром III тарифное законодательство было сосредоточено в новом Департаменте железнодорожных дел Министерства финансов, а 10 марта после производства в действительные статские советники — ди-





Д.Ю. Левин

ВИТТЕ С.Ю. — ВЫДАЮЩИЙСЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНИК



ректором департамента был назначен С. Ю. Витте.

15 февраля 1892 г. С. Ю. Витте был назначен управляющим Министерства путей сообщения. На этом посту он продемонстрировал недюжинный талант. Установилась твёрдая идея о государственном значении железных дорог, в соответствии с которой исключалась возможность строительства и эксплуатации железных дорог частными обществами. Последовал выкуп железных дорог из рук частных обществ и сооружение железных дорог казной.

30 августа 1892 г. С. Ю. Витте был назначен управляющим Министерством финансов, а с 1 января 1893 г. стал полноправным министром финансов. Благодаря энергии С. Ю. Витте началось сооружение Великой Сибирской железной дороги. Сначала он предложил образовать особый комитет для законодательного решения вопросов управления постройкой дороги под председательством наследника-цесаревича (будущего императора Николая II), а затем обеспечил выделение необходимых финансов. С. Ю. Витте постоянно координировал и контролировал строительство железной дороги, инициировал вопросы организации переселения в Сибирь. С 1897 по 1914 год население Сибири увеличилось с 4,6 до 7,6 млн человек, население Даль-

него Востока — с 0,9 до 1,6 млн человек. Строительство железной дороги закончили в 1915 году.

Благодаря министру финансов С. Ю. Витте в 1894 г. был заключён выгодный для России первый торговый договор с Германией, который охватывал торговые, экономические и политические интересы и положил конец таможенной войне. Это было большой личной победой министра финансов.

Особый интерес представляет введение казённой винной монополии. Питейная реформа, проведённая С. Ю. Витте, впервые ввела акцизную систему, которая не позволяла продавать водку никому, кроме государства. Бюджет увеличился почти на 30 %. В ходе антиалкогольной кампании С. Ю. Витте с инспекторскими поездками посетил многие губернии.

С. Ю. Витте настойчиво боролся за осуществление золотой реформы. В начале денежной реформы он обосновал свою позицию: *«Огромное значение золотой валюты заключается, прежде всего, в том, что представляет золотой мост, перекинутый из богатых стран в бедные. При ней ускоряется выход из бедности, тогда как при бумажной валюте он замедляется»*. В 1894 году осуществлена денежная реформа, которой вводилась золотая валюта. Впервые российский рубль стал конвертируемым.

Деятельность С. Ю. Витте выходила далеко за традиционные рамки Министерства финансов. Он вторгался во многие сферы, включая внешнюю политику. С первых лет пребывания на министерском посту он проявил себя как геополитик, стремившийся укрепить и расширить позиции России как великой державы.

Его дипломатическая деятельность началась блистательным успехом в Берлине в 1894 году при подписании торгового договора и закончилась блистательным успехом в Париже 1906 г., в год миллиардного займа.

В сентябре 1902 г. С. Ю. Витте совершил путешествие на Дальний Восток, был в Порт-Артуре, Владивостоке и в Дальнем, ознакомился с положением на дальней окраине. По возвращении С. Ю. Витте составил доклад, в котором настаивал на выводе наших войск из Маньчжурии и необходимости соглашения с Японией.

16 августа 1903 г. указом Николая II С. Ю. Витте был освобождён от должности министра финансов и назначен председателем Комитета министров. За время управления С. Ю. Витте Министерством финансов значительно укрепился бюджет страны, постоянно доходы превышали расходы, за что его постоянно критиковали. Он считал, что при огромной задолженности страны необходимо держать несколько сот миллионов рублей, которые при неблагоприятных обстоятельствах, в том числе при неурожаях, могли бы остановить падение русских фондов. Когда С. Ю. Витте ушёл из Министерства финансов, он оставил свободную наличность в сумме 380 млн руб., которая дала возможность Российской империи после начала Японской войны несколько месяцев жить без займов.

После поражения в Японской войне встал вопрос о назначении главного уполномоченного для ведения мирных переговоров. Тогдашний министр иностранных дел В. Н. Ламздорф и другие претенденты отказались вести переговоры. Тогда Николай II предложил эту миссию С. Ю. Витте. Переговоры и Портсмутский мирный договор, заключённый в напряжённой борьбе на выгодных для России условиях, стал дипломатическим триумфом С. Ю. Витте. Он снискал себе авторитет на мировой арене.

Вернувшись после Портсмута в Петербург в сентябре 1905 г., С. Ю. Витте стал свидетелем нараставшего вала революции. Он много думал и анализировал причины революции. Основной причиной забастовок и беспорядков он считал нерешённый крестьянский вопрос.

После доклада императору граф С. Ю. Витте подготовил проект манифеста, 17 октября царь издал этот высочайший манифест «Об усовершенствовании государственного порядка», который произвёл огушительное впечатление на российское общество. Провозглашаемые манифестом принципы ломали вековой уклад и упраздняли одну из основ российской государственности — неограниченное самодержавие. Сразу же после объявления манифеста 17 октября по всей России прокатилась волна контрреволюционных выступлений.

20 октября 1905 г. граф С. Ю. Витте был назначен председателем Совета Мини-

стров. Из-за страха перед стихией революции многие из предложенных им кандидатур для замещения постов в правительстве отказались. Формирование правительства затянулось до конца октября.

По распоряжению С. Ю. Витте были разосланы телеграммы администрациям бастовавших заводов, в телеграммах был призыв к рабочим, чтобы они перестали слушать лиц, явно ведущих к разорению и голоду. 5 ноября Совет рабочих постановил прекратить забастовки. Председатель Совета Г. С. Носарь, а затем и весь совет были арестованы. 7 ноября забастовки прекратились, и государь-император написал С. Ю. Витте: *«Радуюсь, что бессмысленная стачка окончилась, это большой нравственный успех правительства»*.

Первое время, после 17 октября 1905 г., Николай II прислушивался к мнению С. Ю. Витте, но по мере того как страх перед внезапной революцией начал проходить, государь перестал считаться с мнением Витте, начал действовать помимо и в тайне от него. С. Ю. Витте не захотел оставаться полуноминальным главой правительства.

16 апреля 1906 г. со всеми положенными почестями С. Ю. Витте был освобождён от должности. После отставки он продолжал оставаться статс-секретарём и членом Государственного совета. Большую часть времени он посвящал литературным трудам.

Граф С. Ю. Витте — фигура сложная и противоречивая, что во многом связано с особенностями того времени. Он вошёл в историю страны и навсегда останется в ней. Останется как человек решительной воли и выдающийся организатор, как один из самых крупных политиков, способствовавших подъёму производительных сил России, развитию железнодорожного дела и оздоровлению денежной системы, как яркий представитель российской школы экономической мысли.

Книга Дмитрия Левина «С.Ю. Витте — железнодорожник, выдающийся государственный деятель» рассчитана на широкий круг читателей, будет интересна всем, кто интересуется российской историей, личностью в истории, историей железных дорог.





Reformer of the Railways and of the Country



Shapkin, Igor N., Russian University of Transport, Moscow, Russia.*

Igor N. SHAPKIN

Levin D. Yu. S. Yu. Witte – railwayman, an outstanding statesman [S. Yu. Witte – zheleznodorozhnik, vydayushchiisya gosudarstvenniy deyatel']. Moscow, Railway training and methodological centre, 2020, 376 p. ISBN 978-5-907206-02-1.

Books about the «outstanding railway man No. 1» are published quite often, especially since 2019 that marked his 170th birthday. The personality of Sergey Yulievich Witte has always attracted connoisseurs and lovers of Russian history. Dmitry Levin's new

book «S. Yu. Witte – railwayman, an outstanding statesman» [S. Yu. Witte – zheleznodorozhnik, vydayushchiisya gosudarstvenniy deyatel'] is about him, a reformer who began his career on the railway. The author of the first Charter of Railways, the creator of the theory of tariffs, the initiator of the reform of construction and operation of railways, the acting head of construction of the Trans-Siberian Railway, who became a politician, statesman, diplomat, financier – this is a small part of what Witte had managed to do for the country.

Keywords: S. Yu. Witte, railway, tariff theory, Charter of Railways, Great Siberian Route.

*Information about the author:

Shapkin, Igor N. – D.Sc. (Eng), Professor at the Department of Operations Management and Transportation Safety of Russian University of Transport, Moscow, Russia, shapkin05@mail.ru.

Review received 16.10.2020, accepted 05.11.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 234.

The preface to the book notes that Witte left a bright mark on the history of the country and the life of Russian society. Assessing the scale of the personality, one should speak of him as a major statesman of Russia, a person of outstanding intelligence, will and energy, an organizer who contributed to the rise of productive forces in the difficult transition period of post-reform Russia, the evolution of the socio-economic system of society. S. Yu. Witte proposed and successfully implemented his views on overcoming backwardness, modernizing Russia on the rails of a market economy with the state as a locomotive.

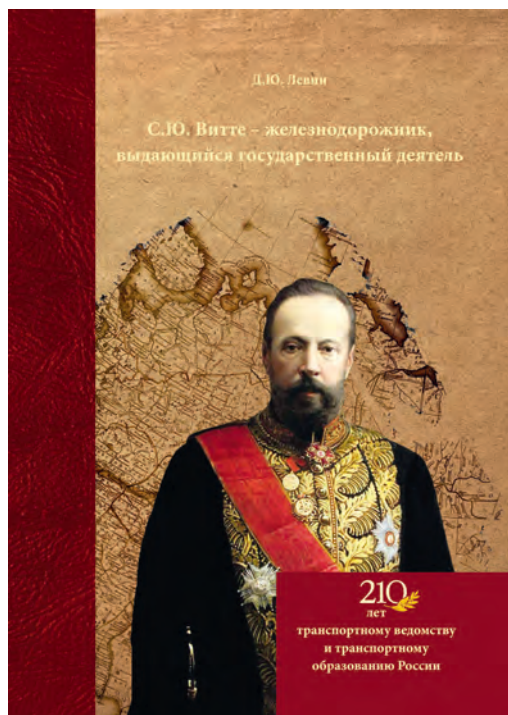
S. Yu. Witte was born on June 17, 1849 in Tiflis in a noble family. After graduating from high school, he entered the physics and mathematics faculty of Odessa branch of Novorossiysk University. After graduation, S. Yu. Witte wanted to stay at the university and become a professor. But under the influence of his mother and uncle, the Minister of Railways, Count V. A. Bobrinsky persuaded young Witte to make a career on the railway.

Starting from the position of a cashier, continuing as a clerk, ticket collector, traffic inspector and station chief, S. Yu. Witte quickly rose through the ranks and was appointed head of the traffic office of Odessa railway.

At that time, construction and development of railway transport began, the Odessa railway consisted of several sections from Odessa to Balta. To complete the picture, the author of the book, based on his work «Development of Russian Railways in 19th Century», showed further development of Odessa and South-Western Railways, on which S. Yu. Witte later worked.

As the head of Odessa railway, Witte showed extraordinary creativity, proposing a new system of driving steam locomotives by drivers, increasing the size of train traffic with a shortage of capacity, solving the problem of transporting the wounded during the Russian-Turkish war.

After the end of the war in 1878, Odessa railway was merged with several other railways and the Society of South-Western Railways was formed. S. Yu. Witte got the position of



the head of the operational department of the South-Western Railways. On February 16, 1880, S. Yu. Witte was appointed head of the operation service for the South-Western Railways, and later – the manager of those railways.

The main task of the young boss was to increase operating income. He solved this problem from 1881 to 1885. The Company's net income from operation of its roads increased from 4 million 300 thousand rubles up to 13 million 600 thousand rubles, or more than three times.

This result was achieved by a flexible tariff policy. Summarizing the results of his activities, S. Yu. Witte wrote the book «*Principles of Railway Tariffs for the Carriage of Goods*», published in 1884 in Kiev and republished in Paris in 1910.

Taking part in the imperially established Commission for the Study of Railway Business in Russia, chaired by Count E. T. Baranov, S. Yu. Witte developed a draft Charter of Russian Railways, which was approved by the State Council and on June 12, 1885, approved by the emperor.

On March 8, 1889, after the approval of Alexander III, the tariff legislation was concentrated in the new Department of

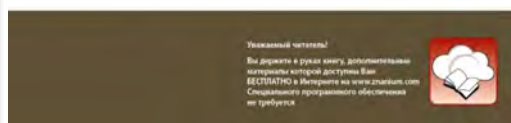




Д.Ю. Левин



ВИТТЕ С.Ю. — ВЫДАЮЩИЙСЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНИК



Railway Affairs of the Ministry of Finance, and on March 10, after being promoted to acting state councilors, S. Yu. Witte was appointed director of the department.

On February 15, 1892 S. Yu. Witte was appointed manager of the Ministry of Railways. In this post, he showed remarkable talent. A firm idea was established about the state importance of railways, in accordance with which the possibility of building and operating railways by private companies was excluded. The purchase of railways from the hands of private companies and construction of railways by the treasury followed.

On August 30, 1892, S. Yu. Witte was appointed manager of the Ministry of Finance, and from January 1, 1893, he became a full-fledged minister of finance. Thanks to the energy of S. Yu. Witte, construction of the Great Siberian Railway began. First, he proposed to form a special committee to legislatively decide on management of construction of the railway under the chairmanship of the heir-crown prince (the future Emperor Nickolay II), and then ensured the allocation of the necessary

finances. S. Yu. Witte constantly coordinated and supervised construction of the railway, initiated organization of resettlement to Siberia. From 1897 to 1914, the population of Siberia increased from 4,6 to 7,6 million people, the population of the Far East — from 0,9 to 1,6 million people. The construction of the railway was completed in 1915.

Thanks to the Minister of Finance S. Yu. Witte, in 1894, the first trade agreement with Germany, which was beneficial for Russia, was concluded, which covered trade, economic and political interests and put an end to the customs war. This was a great personal victory for the finance minister.

Introduction of a state-owned wine monopoly is of particular interest. The alcohol reform carried out by S. Yu. Witte was the first to introduce an excise system that did not allow sale of vodka to anyone except the state. The budget has increased by almost 30 %. During the anti-alcohol campaign, S. Yu. Witte visited many provinces on inspection trips.

S. Yu. Witte persistently fought for implementation of the gold reform. At the beginning of the monetary reform, he substantiated his position: «*The tremendous value of the gold currency lies, first, in what is the golden bridge thrown from rich countries to poor ones. It accelerates the way out of poverty, while with paper currency it slows down*». In 1894, a monetary reform was carried out, which introduced the gold currency. For the first time, the Russian ruble became convertible.

S. Yu. Witte's activities went far beyond the traditional framework of the Ministry of Finance. He invaded many areas, including foreign policy. From the first years of his tenure as a ministerial, he showed himself as a geopolitician who sought to strengthen and expand Russia's position as a great power.

His diplomatic career began with a brilliant success in Berlin in 1894 with signing of a trade agreement and ended with a brilliant success in Paris in 1906, the year of a billion-dollar loan.

In September 1902 S. Yu. Witte traveled to the Far East, was in Port Arthur, Vladivostok and Dal'niy (now Dalian), got acquainted with the situation on the far outskirts. Upon his return, S. Yu. Witte drew up a report in

which he insisted on the withdrawal of our troops from Manchuria and the need for an agreement with Japan.

On August 16, 1903, by decree of Nikolay II, S. Yu. Witte was relieved of his post as Minister of Finance and appointed Chairman of the Committee of Ministers. During S. Yu. Witte's management of the Ministry of Finance, the country's budget was significantly strengthened, revenues constantly exceeded expenses, for which he was constantly criticized. He believed that with the country's huge debt, it was necessary to keep several hundred million rubles, which under unfavorable circumstances, including crop failures, could stop the decline of Russian funds. When S. Yu. Witte left the Ministry of Finance, he left free cash in the amount of 380 million rubbles, which made it possible for the Russian Empire to live without loans for several months after the start of the Japanese War.

After the defeat in the Japanese War, the question arose of appointing a chief commissioner for conducting peace negotiations. The then Minister of Foreign Affairs V. N. Lamsdorf and other applicants refused to negotiate. Then Nikolay II proposed this mission to S. Yu. Witte. The negotiations and the Portsmouth Peace Treaty, concluded in a tense struggle on terms favourable to Russia, became a diplomatic triumph for S. Yu. Witte. He has earned himself authority on the world stage.

Returning from Portsmouth to Petersburg in September 1905, S. Yu. Witte witnessed the growing wave of revolution. He thought a lot and analysed the causes of the revolution. He considered the unresolved peasant issue to be the main cause of strikes and riots.

After a report to His Majesty, Count S. Yu. Witte prepared a draft manifesto; on October 17, the tsar issued this imperial manifesto «On improvement of state order», which made a deafening impression on Russian society. The principles proclaimed by the manifesto broke the age-old way of life and abolished one of the foundations of Russian statehood – unlimited autocracy. Immediately after the announcement of the manifesto on October 17, a wave of counter-revolutionary actions swept across Russia.

On October 20, 1905, Count S. Yu. Witte was appointed chairman of the Council of Ministers. Because of fear of the elements of revolution, many of the candidates he proposed to fill positions in the government refused. The formation of the government dragged on until the end of October.

By order of S. Yu. Witte, telegrams were sent to the administrations of the striking factories, the telegrams contained an appeal to the workers to stop listening to those who were clearly leading to ruin and hunger. On November 5, the Workers' Council decided to end the strikes. The chairman of the Council, G. S. Nosar, and then the entire council were arrested. On November 7, the strikes stopped, and the Emperor wrote to S. Yu. Witte: *«I am glad that the senseless strike is over, this is a great moral success for the government»*.

At first, after October 17, 1905, Nikolay II listened to the opinion of S. Yu. Witte, but as the fear of a sudden revolution began to pass, the sovereign ceased to reckon with the opinion of S. Yu. Witte, began to act apart from him, and even in a secret way. S. Yu. Witte did not want to remain the semi-nominal head of the government.

On April 16, 1906, S. Yu. Witte was dismissed with all the due honours. After his resignation, he continued to be Secretary of State and a member of the State Council. He devoted most of his time to literary works.

Count S. Yu. Witte is a complex and contradictory figure, which is largely due to the peculiarities of his time. He inscribed his name into the history of the country and will forever remain in it. He will remain as a man of decisive will and an outstanding organizer, as one of the largest politicians who contributed to the rise of the productive forces of Russia, development of the railway business and improvement of the monetary system, as a bright representative of the Russian school of economic thought.

The book by Dmitry Levin «S. Yu. Witte – railwayman, an outstanding statesman» [*S. Yu. Witte – zheleznodorozhnik, vydayushchiysya gosudarstvenniy deyatel*] is intended for the attention of a wide range of readers, will be interesting to everyone who is interested in Russian history, personality in history, the history of railways.



АВТОРЕФЕРАТЫ ДИССЕРТАЦИЙ

*Selected abstracts of D.Sc. and Ph.D.
theses submitted at Russian transport
universities*

For the English text please see p. 248.

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-242-254>

Бугреев Н. В. Повышение эффективности планирования и производственной деятельности дистанции сигнализации, централизации и блокировки / Автореф. дис... канд. техн. наук. — М.: РУТ, 2020. — 24 с.

На основании выполненных исследований изложены новые, научно обоснованные методические, технологические и организационно-управленческие решения по совершенствованию планирования производственной деятельности предприятий железнодорожного транспорта, имеющие существенное значение для развития страны.

Получены следующие теоретические и практические результаты:

- Обоснована необходимость разработки новых методов и технологий производственного планирования деятельности структурных подразделений инфраструктурного комплекса ОАО «Российские железные дороги». Показано, что цифровая трансформация производственных процессов на железнодорожном транспорте позволяет повысить эффективность планирования трудовых и материальных ресурсов за счёт наличия новых, недоступных ранее возможностей автоматизированного сбора и анализа больших объёмов различной статистической информации, использования более совершенных технологических алгоритмов.

- Разработан новый метод статистической оценки резерва времени, необходимого и достаточного для выполнения комплекса дополнительных работ дистанциями сигнализации, централизации и блокировки, а также другими структурными подразделениями хозяйства автоматики и телемеханики.

- Предложена методика расчёта нерегламентированных объёмов работ производственного процесса технической эксплуатации систем и устройств железнодорожной автоматики, основанная на композиции законов распределения случайных величин.

- Разработан алгоритм оценки и анализа резерва времени на выполнение нерегламентированных объёмов работ при планировании производственной деятельности дистанций сигнализации, централизации и блокировки.

- Предложен и обоснован новый метод планирования показателей деятельности структурных подразделений хозяйства автоматики

и телемеханики ОАО «Российские железные дороги», учитывающий технические риски, связанные с ненадёжным функционированием объектов транспортной инфраструктуры, и их влияние на показатели перевозочного процесса.

- Разработана практическая методика расчёта ожидаемых и плановых значений интегральных, базовых и дополнительных показателей деятельности различных структурных подразделений хозяйства автоматики и телемеханики, а также показателя качества функционирования инфраструктуры в границах производственной деятельности дистанции СЦБ.

- Проведён анализ процессной модели технического обслуживания и ремонта систем и устройств железнодорожной автоматики в дистанции СЦБ, сформулированы рекомендации по совершенствованию процессной модели с учётом предложенных методик планирования производственной деятельности.

- Предложенные в работе методы, технологические и организационно-управленческие решения прошли апробацию и нашли практическое применение на сети железных дорог Российской Федерации. В настоящее время методика проходит опытную эксплуатацию на полигонах всех железных дорог. На основе предложенных в диссертации методов и методик разработаны при непосредственном участии автора, утверждены и приняты к практическому использованию два отраслевых документа (методики) ОАО «Российские железные дороги».

В перспективе наиболее актуальной задачей является автоматизация предложенных автором методов и методик планирования деятельности структурных подразделений инфраструктурного комплекса ОАО «Российские железные дороги». Решение данной задачи запланировано в Дорожной карте реализации проекта «Цифровая трансформация процессов хозяйства автоматики и телемеханики» в рамках реализации Стратегии цифровой трансформации ОАО «Российские железные дороги» до 2025 года.

05.02.22 — Организация производства (транспорт). Работа выполнена в Российском университете транспорта.

Жуков А. С. Обоснование конструкции кузова пассажирского вагона из экструдированных алюминиевых панелей / Автореф. дис... канд. техн. наук. — Тверь: ЗАО НО «ТИВ», 2020. — 20 с.

На основании анализа зарубежного и отечественного опыта проектирования, изготовления пассажирских вагонов с кузовами из алюминиевых сплавов предложен вариант конструкции кузова пассажирского вагона с поперечным сечением и торцевыми частями, сформированными из экструдированных алюминиевых профилей (панелей).

Определена необходимость дополнения существующей нормативной базы для проведения проектных работ требованиями к элементам обшивки крыши и боковых стен кузова вагона с конструкцией, отличной от традиционной.

Приведён подход, позволяющий на этапе проектирования проверить соответствие кузова пассажирского вагона с конструкцией, отличной от традиционной, требованиям безопасности, указанным в нормативной документации, и сформулированы требования к элементам обшивки крыши и боковых стен кузова вагона с поперечным сечением, выполненным из экструдированных алюминиевых панелей.

Разработана конечноэлементная модель алюминиевого кузова, проведены расчёты по I и III расчётным режимам, подтвердившие соответствие предлагаемого варианта конструкции требованиям прочности.

Для проверки выполненной модели и определения размеров конечных элементов, обеспечивающих необходимую точность вычислений при минимальной затрате времени на расчёт, проведено экспериментальное исследование экструдированной панели, предлагаемой для формирования поперечного сечения кузова вагона.

Разработана методика расчёта экструдированных алюминиевых профилей, позволяющая значительно упростить начальные стадии разработки конструкции кузова.

Выполнен сравнительный расчёт СЖЦ алюминиевого и стального вагонов, результаты которого подтверждают возможность создания экономичной конструкции с использованием алюминиевых сплавов.

Результаты, полученные при выполнении диссертационной работы, могут быть использованы для разработки конструкторских решений при проектировании кузовов пассажирских и грузовых вагонов с конструкцией, отличной от традиционной, из различных конструкционных материалов.

Перспективой дальнейшей разработки темы является рассмотрение вопросов оптимизации предложенной конструкции (снижение металлоёмкости, применение алюминиевых сплавов с улучшенными характеристиками и др.), её доработка с учётом способов установки подвагонного и внутривагонного оборудования (в том числе, при рассмотрении возможности крупноблочной сборки), уточнение экономического аспекта в рамках СЖЦ.

Специальность 05.22.07 — Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация. Работа выполнена в Тверском институте вагоностроения (ЗАО НО «ТИВ»). Защита состоялась в Российском университете транспорта.

Пугачев А. А. Энергоэффективные электроприводы с асинхронными двигателями для магистральных локомотивов / Автореф. дис... док. техн. наук. — М.: РУТ, 2020. — 48 с.

Изложены новые научно обоснованные технические решения, направленные на обеспечение высокой энергоэффективности электроприводов на магистральных локомотивах, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны.

Получены новые научные результаты, сформулированные в следующих положениях.

При вентиляторной нагрузке вспомогательных электроприводов локомотивов, учитывая стоимостные показатели современных преобразователей частоты, целесообразнее применять частотно-регулируемые электроприводы с алгоритмами скалярного управления.

Синтезирована система скалярного управления электропривода с асинхронным двигателем, осуществляющая минимизацию тока статора, а, следовательно, и потери мощности в установившихся режимах работы. При моменте сопротивления, не равном номинальному, величина КПД за счёт применения системы минимизации тока статора может быть увеличена на 20 %, а потерь мощности — снижены на 50 %.

Сравнительный анализ электроприводов показал очевидное преимущество систем скалярного управления, работающих по принципу минимума тока статора, которые поддерживают требуемое значение момента с меньшими значениями тока статора, напряжения статора, а, следовательно, и с меньшим значением магнитного потока, что приводит к увеличению коэффициента добротности и снижению электромагнитных нагрузок. Вместе с этим, проведённый анализ показал необходимость учёта влияния температуры обмоток на значения напряжения статора и параметры системы управления в связи с влиянием на величины минимума тока статора и, особенно, оптимального абсолютного скольжения, обеспечивающего экстремальное управление по минимуму тока статора.

Разработан алгоритм формирования задания на токи статора и потокосцепление ротора асинхронного двигателя при использовании системы векторного управления, обеспечивающий минимум потерь мощности. В качестве лимитирующих факторов применены ограничения по току и напряжению статора двигателя, мощности дизель-генераторной установки. Синтезирована система управления тягового электропривода с асинхронным двигателем, обеспечивающая непосредственное регулирование скольжения колёс, с подчинённой системой минимизации потерь мощности. Установлено, что применение разработанной системы управления приводит к уменьшению



потерь мощности. Наибольший абсолютный эффект при любых моментах сопротивления достигается в окрестности номинальной частоты вращения магнитного поля статора $m_{\text{ном}}$, причём при приближении частоты m к частоте $m_{\text{ном}}$ со стороны меньших значений эффект от применения разработанной системы возрастает в значительно большей степени, чем при приближении m к $m_{\text{ном}}$ со стороны больших значений.

Предложена упрощённая тепловая схема замещения для определения температуры обмотки и магнитопровода статора. Синтезированы уравнения теплового равновесия. Разработана методика определения значений тепловых сопротивлений статора при помощи лабораторной установки, которая учитывает особенности охлаждения конкретного типа двигателей и избавляет от необходимости рассмотрения асинхронного двигателя как аэродинамической системы. Результаты экспериментальных исследований позволили установить влияние частоты вращения ротора двигателя и объёма охлаждающего воздуха на значения тепловых сопротивлений.

Разработан метод идентификации активного сопротивления обмотки ротора асинхронного двигателя по сигналам с датчиков тока и напряжения статора и датчика частоты вращения вала ротора. На основании алгебраических уравнений, описывающих электромеханическое преобразование энергии во вращающихся взаимно перпендикулярных осях, синтезирован алгоритм определения сопротивления и температуры обмотки ротора. Результаты имитационного моделирования предложенного метода в программном комплексе MatLab Simulink для асинхронного двигателя мощностью 11 кВт показали высокую сходимость, максимальное расхождение не превысило 9 %.

Предложен метод определения сопротивления и температуры обмоток статора и ротора периодическим добавлением к напряжению статора напряжения высокой частоты и/или постоянной составляющей напряжения, выполнена оценка его точности. Добавление постоянной составляющей напряжения позволяет определять сопротивление и температуру обмотки статора; добавление напряжения высокой частоты позволяет определять сопротивление и температуру обмоток статора и ротора при их одинаковом нагреве. В случае неодинакового нагрева обмоток статора и ротора необходимо совместное добавление постоянной и высокочастотной составляющих напряжения. Показано влияние не идеальности характеристик силовых ключей инвертора напряжения. Результаты моделирования показали, что ошибка определения сопротивления обмотки статора составляет 1 %, в то время как ошибка определения сопротивления ротора может достигать

6 % при добавлении переменной составляющей напряжения с частотой 150...250 Гц.

Разработаны автоматические системы регулирования температуры тяговых двигателей, тяговых преобразователей частоты и энергетической установки автономного локомотива с применением электропривода вентилятора охлаждения как исполнительно-регулирующего устройства, обеспечивающие расширение диапазона изменения частоты вращения вала вентилятора, а, следовательно, снижение диапазона изменения регулируемой температуры.

Разработана система управления, осуществляющая уменьшение потерь мощности в силовых полупроводниковых приборах автономного инвертора напряжения тягового преобразователя частоты и контроль их температуры, предназначенная для использования в составе системы управления тягового электропривода. Входными сигналами системы являются температуры кристаллов силовых полупроводниковых приборов и ток статора тягового двигателя. Выходными сигналами системы являются задание на частоту коммутации силовых полупроводниковых приборов и задание на величину максимального тока.

Оценка экономической эффективности применения электропривода вентилятора охлаждения с преобразователем частоты и асинхронным двигателем с энергоэффективной системой скалярного управления в составе автоматической системы регулирования температуры энергетической установки, проведённая по методике, разработанной во ВНИТИ, показала, что экономия топлива может составить 16 т 992 кг в год на систему охлаждения энергетической установки автономного локомотива мощностью 2200 кВт по сравнению с релейной системой регулирования.

05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы. Работа выполнена в Российском университете транспорта.

Соломин А. В. Развитие теории линейных тяговых устройств высокоскоростного магнитно-левитационного транспорта / Автореф. дис... док. техн. наук. – Ростов н/Д: РГУПС, 2020. – 38 с.

В результате исследования решена научная проблема повышения безопасности движения высокоскоростного транспорта на магнитном подвесе (МЛТ) за счёт улучшения поперечной динамики при помощи новых конструкций multifunctional тяговых линейных асинхронных двигателей с продольно-поперечным магнитным потоком, развивающих усилия боковой самостабилизации левитирующих экипажей относительно путевой структуры и решена научная проблема повышения эффективности использования линейных асинхронных двигателей (ЛАД) на высокоскоростном

МЛТ путём развития их теории, что позволило повысить точность расчётов и создания новых конструкций ЛАД. Выполненные исследования позволили сформулировать ряд основных выводов.

Анализ публикаций, уровень техники и экономики в Российской Федерации и других промышленно развитых странах позволяют сделать вывод о том, что на первых этапах создания поездов со скоростями движения 350–500 км/ч более перспективными являются магнитолевитационные транспортные системы с тяговыми линейными асинхронными двигателями.

Высокие скорости МЛТ требуют значительного повышения уровня безопасности движения. Один из путей решения этой научно-технической проблемы – создание новых тяговых линейных асинхронных приводов, работающих на новом принципе действия, который предложен в диссертации, с улучшенной поперечной динамикой, развивающих не только тяговые усилия, но и усилия поперечной самостабилизации высокоскоростного магнитолевитационного экипажа относительно путевой структуры.

Определён способ улучшения поперечной динамики высокоскоростного магнитолевитационного транспорта с тяговыми ЛАД за счёт использования в линейных двигателях нового физического принципа встречно бегущих в поперечном направлении магнитных полей. При нарушении их симметрии (поперечное смещение экипажа) создаются боковые усилия, возвращающие экипаж МЛТ в прежнее положение. На основе решения полевых задач созданы основы теории определения поперечной самостабилизации с учётом взаимосвязей между геометрическими размерами индуктора и вторичного элемента ЛАД и величиной бокового смещения.

Решение оптимизационной задачи позволило установить зоны наивыгоднейшего использования ЛАД с поперечным магнитным потоком, что необходимо для проектирования линейных двигателей для магнитолевитационного транспорта. Показано, что коэффициент ослабления электромагнитной силы (тягового усилия) зависит от распределения плотности тока во вторичном элементе ЛАД, определены способы его снижения путём направленного изменения соотношения его геометрических размеров.

Аналитическим путём получены соотношения для расчёта коэффициента ослабления электромагнитной силы тягового ЛАД с поперечным магнитным потоком, учитывающие распределение плотности тока во вторичном элементе, величину воздушного зазора и поперечный краевой эффект. Установлены оптимальные значения плотности тока вторичного

элемента, учитывающие скорость движения МЛТ и геометрические размеры двигателя.

Установлены аналитические соотношения для расчёта плотности тока индукторов тяговых ЛАД с продольным и поперечным магнитным потоком путём решения дифференциальных уравнений, учитывающие геометрические размеры индуктора и вторичного элемента и их взаимное влияние на распределение плотности тока в лобовых частях обмотки, что повышает точность расчёта тягового усилия.

Сформулирована и решена краевая полевая задача, позволившая получить соотношения для расчёта плотности тока во вторичном элементе тягового ЛАД с продольным магнитным потоком при учёте влияния магнитного поля за пределами индуктора, что позволяет повысить точность расчёта тяговых усилий. Результаты теоретических исследований позволили установить, что эффективность взаимодействия токов индуктора и вторичного элемента ЛАД с продольным магнитным потоком зависит от величины их фазового сдвига и оказывает значительное влияние на величину тягового усилия МЛТ. Аналитическим путём получены соотношения для расчёта коэффициента ослабления электромагнитной силы (тягового усилия) в зависимости от распределения тока во вторичном элементе, что может быть использовано при проектировании линейного асинхронного двигателя для высокоскоростного магнитолевитационного транспорта.

Разработаны математические модели для расчёта токов во вторичном элементе ЛАД с поперечным магнитным потоком на основе уравнений Максвелла, позволяющие учитывать величину воздушного зазора при магнитной подвеске высокоскоростного экипажа, распределение магнитной индукции в поперечном направлении и взаимосвязи между геометрическими размерами индуктора и вторичного элемента. Предложена новая математическая модель распределения токов во вторичном элементе, учитывающая поперечный краевой эффект, что позволяет на стадии проектирования магнитолевитационной транспортной системы с ЛАД выбирать её рациональные размеры. Получены новые соотношения для определения коэффициента ослабления электромагнитной силы ЛАД для высокоскоростного МЛТ с учётом срединных эффектов, что повышает точность расчётов.

Определены оптимальные значения средней плотности тока вторичного элемента ЛАД для МЛТ, учитывающие взаимосвязи между скоростью движения и геометрическими размерами двигателя. Доказано, что приращение плотности тока вторичного элемента тягового ЛАД при смещении его от оси симметрии в любую сторону будет отрицательным. Исследование окрестностей экстремума (максимума) средней



плотности тока вторичного элемента показало, что даже незначительное отклонение от оптимума приводит к существенному снижению плотности тока и уменьшению тягового усилия. Это особенно резко проявляется при малых значениях полюсного деления двигателя.

Исследованы особенности регулирования линейного асинхронного двигателя с изменяемым сопротивлением короткозамкнутой обмотки вторичного элемента. Решён ряд полевых задач, устанавливающих взаимосвязи между параметрами паза вторичного элемента тягового регулируемого ЛАД и магнитным полем вторичного элемента при частичном замыкании проводников стержня. Установлены закономерности изменения коэффициентов увеличения активного и уменьшения индуктивного сопротивления обмотки вторичного элемента в зависимости от количества и расположения замкнутых накоротко проводников. Доказано, что эффект вытеснения тока в пазу вторичного элемента проявляется особенно резко при замыкании накоротко части проводников, занимающих свыше 50 % по высоте паза. В таких случаях при расчёте регулируемого тягового ЛАД в режимах трогания экипажа МЛТ с места, торможения, изменения скорости движения обязателен учёт вытеснения тока в пазу.

Экспериментальные исследования на лабораторных и макетных образцах ЛАД для высокоскоростного магнитолевитационного подвижного состава показали, что расхождение теоретических и опытных результатов не превышает 10 %.

Разработаны конструкции новых тяговых ЛАД для магнитолевитационного транспорта, защищённые 2 авторскими свидетельствами СССР и 25 патентами Российской Федерации.

Результаты диссертационного исследования получили практическое применение в конструкции стенда для исследования равновесия, устойчивости и движения комбинированных электромагнитных и электродинамических подвесов для высокоскоростного магнитолевитационного транспорта (АО «НИИЭФА им. Д. В. Ефремова», Госкорпорация «Росатом»), а также используются при выполнении исследований по новым видам транспорта в рамках гранта РФФИ_РЖД № 17-20-04236 «Магнитное охлаждение перспективных транспортных и энергетических систем» в ФГБУН «Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова» РАН при разработке стендов по исследованию атмосферных и вакуумных магнитолевитационных транспортных систем, применяются в учебном процессе РГУПС, приняты к внедрению на предприятиях транспорта и промышленности.

05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация; 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты. Работа

выполнена в Ростовском государственном университете путей сообщения.

Трофимова Л. С. Научные основы текущего планирования работы грузового автотранспортного предприятия в условиях неопределённости развития / Автореф. дис... док. техн. наук. – Омск: СибАДИ, 2020. – 32 с.

Выполненные исследования взаимосвязи грузовых автомобильных перевозок, ТО и ТР подвижного состава при работе АТП с применением новых информационных технологий в виде программ для ЭВМ в условиях неопределённости развития можно квалифицировать как новые научные и организационные разработки для текущего планирования, направленные на решение проблемы, имеющей важное значение при выполнении целевых показателей, обозначенных в Транспортной стратегии РФ на период до 2030 года в области эффективного развития автомобильного транспорта РФ.

За счёт разработанной концепции текущего планирования, комплекса принципов применения методов текущего планирования, математических моделей и методик инновационной направленности решена крупная научная проблема, имеющая важное хозяйственное значение – разработаны теоретические и методологические основы текущего планирования работы АТП, учитывающие взаимосвязь перевозок грузов и выполнения ТО и ТР подвижного состава для соблюдения основных действующих положений Федерального закона «О безопасности дорожного движения» и направленные на достижение индикаторов развития автомобильного транспорта, обозначенных в Транспортной стратегии РФ на период до 2030 года в условиях существующей неопределённости. Апробация и внедрение результатов исследований обеспечит развитие экономики РФ за счёт реализации важной социально-экономической роли текущего планирования работы АТП при выполнении условий договоров.

Выполненный анализ показателей, характеризующих современное состояние автомобильного транспорта РФ, позволил установить, что индикаторы Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года зависят от показателей работы АТП, формирующихся с учётом изменения спроса на автотранспортные услуги по структуре перевозимых грузов, их объёмам, требованиям со стороны заказчиков к специализированному подвижному составу, срокам перевозок грузов. Установлены показатели, влияющие на результаты функционирования АТП в условиях неопределённости развития, которые необходимо учитывать в текущем планировании применительно к перевозке грузов, ТО и ТР подвижного состава по типоразмерам АТП для выполнения договоров и получения прибыли.

Уточнён понятийный аппарат, направленный на развитие теоретических основ текущего планирования работы АТП, учитывающих вероятностное состояние показателей перевозок грузов, ТО и ТР подвижного состава и свойства видов деятельности при их взаимном влиянии друг на друга, выявленные в ходе разработанной классификации видов деятельности АТП.

Разработана стратегия применения текущего планирования работы АТП, основанная на новой концепции текущего планирования работы АТП, руководящей идеей которой является синтез перевозок грузов, ТО и ТР подвижного состава, и включает в себя принципы применения методов текущего планирования в работе АТП и концептуальную схему текущего планирования работы АТП, обеспечивающую достижение количественных и качественных показателей, по которым может функционировать АТП для выполнения условий договоров и получения прибыли.

Предложены методы для текущего планирования работы АТП, направленные на определение вероятностных показателей функционирования ПС типоразмеров АТП при перевозке грузов в городе и в междугородном сообщении для выполнения условий договоров и получения прибыли.

Разработанный теоретико-практический инструментарий текущего планирования работы АТП включает созданные математические модели функционирования специализированного ПС типоразмеров АТП для выполнения условий договоров при перевозке грузов в городе и в междугородном сообщении и программно-математическое обеспечение для разработанных математических моделей.

Определены вероятностные параметры математических моделей с достоверной вероятностью 0,95 по установленным зависимостям влияния технико-эксплуатационных показателей на выработку и пробег специализированного ПС типоразмеров АТП, полученным в результате исследований, проведённых экспериментально в производственных условиях. Установлен логарифмический нормальный закон распределения длины ездки с грузом в городе и в междугородном сообщении, нормальный закон распределения массы отправки груза в междугородном сообщении.

Разработаны методики текущего планирования работы специализированного подвижного состава типоразмеров АТП при перевозке грузов в городе и в междугородном сообщении, в которых применяются математические модели и программно-математическое обеспечение к ним, позволяющие:

- планировать функционирование специализированного подвижного состава типоразмеров АТП для выполнения условий договоров по показателям выработки и пробега с достоверной вероятностью 0,95;

- определять объём перевозок грузов с учётом вероятности выполнения транспортной работы специализированным ПС типоразмеров АТП в городе, проводить оценки объёма перевозок грузов специализированным ПС типоразмеров АТП в междугородном сообщении по договорам при соответствии длин ездки с грузом, величины которых установлены с достоверной вероятностью 0,95;

- выбирать режим рабочего времени и способ организации труда водителей для выполнения условий договоров по времени перевозок грузов в междугородном сообщении;

- определять количественные и качественные показатели перевозок грузов, ТО и ТР подвижного состава, затраты, результат и прибыль.

Теоретико-экспериментальная апробация разработанных методологических основ, проведённая на АТП и в учебном процессе вуза с применением новых программ для ЭВМ, подтверждает научную и практическую значимость полученных результатов исследований. Установленные объёмы перевозок грузов, которые были указаны в договорах между АТП и заказчиком, были выполнены в полном объёме, получена прибыль, которая превысила прибыль, рассчитанную по показателям ранее разработанной методики на 14,5 % (339248 руб.) — при перевозке грузов в городе, на 10,8 % (1281170 руб.) — при перевозке грузов в междугородном сообщении. Применение новых программ для ЭВМ позволило снизить общую трудоёмкость на 7,7 чел. • ч при планировании перевозок грузов в городе, на 9,6 чел. • ч — при планировании перевозок грузов в междугородном сообщении для подвижного состава одного типоразмера АТП. Эффективность новых программ для ЭВМ определена минимальным временем отклика системы на действия менеджера и составила не более трёх минут. Практическая апробация разработанных требований и рекомендаций для определения режимов рабочего времени и способа организации труда и отдыха водителей позволила избежать ДТП по вине водителей, связанных с усталостью за рулём при перевозке грузов в междугородном сообщении.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку усовершенствованных теоретических основ и методологических концепций для планирования работы АТП, применение которых направлено на решение проблем развития автомобильного транспорта в соответствии с изменениями в экономике РФ.

05.22.10 — Эксплуатация автомобильного транспорта. Работа выполнена в Сибирском государственном автомобильно-дорожном университете (СибАДИ).



ABSTRACTS of D.Sc. and Ph.D. THESES

*Selected abstracts of D.Sc. and Ph.D. theses
submitted at Russian transport universities*

For the original Russian text please see p. 242.

DOI: DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-242-254>

Bugreev, N. V. Improving the efficiency of planning and production activities of centralised signalling and block section unit. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [*Povyshenie effektivnosti planirovaniya i proizvodstvennoi deyatel'nosti distantsii signalizatsii, tsentralizatsii i blokirovki. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk*]. Moscow, RUT publ., 2020, 24 p.

Based on the research carried out, new scientifically grounded methodological, technological, organizational and managerial solutions for improving planning of production activities of railway transport enterprises, which are essential for development of the country, are presented.

The following theoretical and practical results are obtained:

- The necessity of developing new methods and technologies for production planning of the activities of structural subdivisions of the infrastructure complex of JSC Russian Railways was substantiated. It is shown that digital transformation of production processes in railway transport makes it possible to increase the planning efficiency of labour and material resources due to availability of new, previously unavailable capabilities for automated collection and analysis of large volumes of various statistical information, and the use of more advanced technological algorithms.

- A new method has been developed for statistical assessment of the necessary and sufficient time that should be reserved to perform a complex of additional work by centralised signalling and blocking section units, as well as by other structural units of automation and telemechanics facilities.

- A method for calculating unregulated volumes of work of the production process of technical operation of systems and devices of railway automation was developed, based on the composition of the laws of distribution of random variables.

- An algorithm was developed for assessing and analysing the time reserve for performing unregulated volumes of work when planning production activities for centralized signalling and block section units.

- A new method of planning performance indicators of structural units of automation and telemechanics facilities of JSC Russian Railways was proposed and substantiated, considering the technical risks associated with unreliable operation of transport infrastructure facilities and their impact on the indicators of the transportation process.

- A practical method has been developed for calculating the expected and planned values of integral, basic and additional indicators of activities of various structural divisions of the automation and telemechanics economy, as well as an indicator of quality of infrastructure functioning within the boundaries of the production activity of the signalling system distance.

- The analysis of the process model of maintenance and repair of systems and devices of railway automation in the distance of the signalling system was carried out, recommendations were formulated for improving the process model, considering the proposed methods of planning production activities.

- The methods, technological and organizational and managerial solutions proposed in the work have been tested and found practical application on the railway network of the Russian Federation. At present, the technique is being tested at test sites of all railways. On the basis of the methods and techniques proposed in the thesis, two branch documents (techniques) of JSC Russian Railways were developed with direct participation of the author, approved and accepted for practical use.

In the long term, the most urgent task is to automate methods and techniques for planning the activities of structural subdivisions of the infrastructure complex of JSC Russian Railways. The solution to this problem is planned in the Roadmap for implementation of the project «Digital transformation of automation and telemechanics economy processes» as part of implementation of the Digital Transformation Strategy of JSC Russian Railways until 2025.

05.02.22 – Organization of production (transport). The work was performed at Russian University of Transport.

Pugachyov, A. A. Energy-efficient electric drives with asynchronous motors for mainline locomotives. Abstract of D.Sc. (Eng) thesis [Energoeffektivnie elektropriivody s asinkhronnymi dvigatelyami dlya magistralnykh lokomotivov. Avtoref. dis... doc. tekhn. nauk]. Moscow, RUT publ., 2020, 48 p.

New scientifically grounded technical solutions aimed at ensuring high energy efficiency of electric drives on main-line locomotives, the introduction of which makes a significant contribution to development of the country, are outlined.

New scientific results have been obtained, formulated in the following provisions:

With a fan load of auxiliary electric drives of locomotives, considering cost indicators of modern frequency converters, it is more expedient to use variable frequency drives with scalar control algorithms.

A scalar control system for an electric drive with an asynchronous motor is synthesized, which minimizes stator current and, consequently, the power loss in steady-state operating modes. When the moment of resistance is not equal to the nominal one, the efficiency value due to the use of the stator current minimization system can be increased by 20 %, and the power losses can be reduced by 50 %.

Comparative analysis of electric drives showed an obvious advantage of scalar control systems operating on the principle of minimum stator current, which maintain the required torque value with lower values of stator current, stator voltage, and, consequently, with a lower magnetic flux value, which leads to an increase in the quality factor and a decrease in electromagnetic loads. At the same time, the analysis showed the need to consider the influence of the winding temperature on the stator voltage values and control system parameters in connection with the influence on the values of the stator current minimum and, especially, the optimal absolute slip, which provides extreme control of the stator current minimum.

An algorithm for generating a reference for stator currents and flux linkage of an induction motor rotor when using a vector control system, providing a minimum power loss, has been developed. Limiting factors were applied to the limits on the current and voltage of the stator of the engine, the power of the diesel generator

set. A control system for a traction electric drive with an asynchronous motor has been synthesized, providing direct control of wheel slip, with a subordinate system for minimizing power losses. It was found that the use of the developed control system leads to a decrease in power losses. The greatest absolute effect at any moments of resistance is achieved in the vicinity of the nominal frequency of rotation of the stator magnetic field m_{onom} , and when the frequency m approaches the frequency m_{onom} from the side of smaller values, the effect from the use of the developed system increases to a much greater extent than when m approaches m_{onom} from the side values.

A simplified thermal equivalent circuit is proposed for determining the temperature of the winding and stator magnetic circuit. Equations of thermal equilibrium are synthesized. A method has been developed for determining the values of stator thermal resistances using a laboratory setup, which takes into account the cooling features of a specific type of motors and eliminates the need to consider an induction motor as an aerodynamic system. The results of experimental studies made it possible to establish the influence of the engine rotor speed and the volume of cooling air on the values of thermal resistance.

A method has been developed for identifying active resistance of the rotor winding of an induction motor based on signals from the stator current and voltage sensors and the rotor shaft speed sensor. An algorithm for determining resistance and temperature of the rotor winding is synthesized based on algebraic equations describing electromechanical conversion of energy in mutually perpendicular rotating axes. The results of simulation modelling of the proposed method in MatLab Simulink software package for an 11 kW induction motor showed high convergence, the maximum discrepancy did not exceed 9 %.

A method is proposed for determining the resistance and temperature of the stator and rotor windings by periodically adding to the stator voltage a high frequency voltage and/or a constant voltage component, and its accuracy is assessed. The addition of a DC voltage component allows determination of the stator winding resistance and temperature; the addition of high frequency voltage makes it possible to determine the resistance and



temperature of the stator and rotor windings at the same heating. In case of unequal heating of the stator and rotor windings, it is necessary to jointly add constant and high-frequency voltage components. The influence of the non-ideal characteristics of the power switches of the voltage inverter is shown. The simulation results showed that the error in determining the stator winding resistance is 1 %, while the error in determining the rotor resistance can reach 6 % when adding an alternating voltage component with a frequency of 150...250 Hz.

Automatic temperature control systems have been developed for traction motors, traction frequency converters and a power plant of an autonomous locomotive with the use of an electric cooling fan drive as an executive-regulating device, which provide an expansion of the range of variation of the fan shaft speed, and, consequently, a decrease in the range of variation of the controlled temperature.

A control system has been developed that reduces power losses in power semiconductor devices of an autonomous voltage inverter of a traction frequency converter and controls their temperature, intended for use as part of a traction electric drive control system. The input signals of the system are temperatures of the crystals of power semiconductors and the stator current of the traction motor. The output signals of the system are the setting for the switching frequency of power semiconductor devices and the setting for the maximum current.

Assessment of the economic efficiency of using an electric drive of a cooling fan with a frequency converter and an asynchronous motor with an energy-efficient scalar control system as part of an automatic temperature control system of a power plant, carried out according to the method developed at VNITI, showed that fuel savings can be 16 t 992 kg per year per cooling system of the power plant of an autonomous locomotive with a capacity of 2200 kW in comparison with a relay control system.

05.09.03 — Electrotechnical complexes and systems. The work was performed at Russian University of Transport.

Solomin, A. V. Development of the theory of linear traction devices of high-speed maglev

transport. Abstract of D.Sc. (Eng) thesis [Razvitie teorii lineinykh tyagovykh ustroystv vysokoskorostnogo magnitolevitatsionnogo transporta. Avtoref. dis... doc. tekhn. nauk]. Rostov-on-Don, RGUPS, 2020, 38 p.

As a result of the study, the scientific problem of increasing traffic safety of high-speed vehicles on a magnetic suspension (MLT) was solved by improving lateral dynamics with the help of new designs of multifunctional traction linear induction motors (LIM) with longitudinal-transverse magnetic flux, which develop lateral self-stabilization efforts of levitating vehicles relative to the track structure, and the scientific problem of increasing efficiency the use of linear induction motors on a high-speed MLT by developing their theory, which made it possible to increase the accuracy of calculations and create new LIM designs. The research carried out allowed us to formulate several main conclusions.

Analysis of publications, the level of technology and economy in the Russian Federation and other industrialized countries allow us to conclude that at the first stages of creating trains with speeds of 350–500 km/h, maglev transport systems with traction linear induction motors are more promising.

High MLT speeds require a significant increase in traffic safety. One of the ways to solve this scientific and technical problem is creation of new traction linear asynchronous drives operating on a new principle of action, which is proposed in the thesis, with improved transverse dynamics, developing not only traction forces, but also the efforts of transverse self-stabilization of the high-speed maglev vehicle relative to the track structure.

A method for improving the transverse dynamics of high-speed maglev transport with LIM traction using a new physical principle of magnetic fields counter-running in the transverse direction in linear motors is determined. If their symmetry is violated (lateral displacement of the vehicle), lateral forces are created that return the MLT vehicle to its previous position. Based on solving field problems, the foundations of the theory for determining lateral self-stabilization were created, considering the relationship between the geometric dimensions of the inductor and the secondary element of LIM and the value of the lateral displacement.

The solution to the optimization problem made it possible to establish the zones of the most advantageous use of LIM with transverse magnetic flux, which is necessary for design of linear motors for maglev transport. It is shown that the coefficient of attenuation of the electromagnetic force (tractive effort) depends on distribution of the current density in the secondary element of the LIM, methods for its reduction by directionally changing the ratio of its geometric dimensions are determined.

Analytically, relations were obtained for calculating the attenuation coefficient of the electromagnetic force of traction LIM with a transverse magnetic flux, considering the distribution of the current density in the secondary element, the size of the air gap and the transverse edge effect. The optimal values of the current density of the secondary element are determined, taking into account the speed of the MLT and the geometric dimensions of the engine.

Analytical relations are established for calculating the current density of LIM traction inductors with longitudinal and transverse magnetic flux by solving differential equations, considering the geometric dimensions of the inductor and the secondary element and their mutual influence on the current density distribution in the winding frontal parts, which increases the accuracy of calculating the traction force.

The boundary field problem was formulated and solved, which made it possible to obtain relations for calculating the current density in the secondary element of LIM traction with a longitudinal magnetic flux, considering the influence of the magnetic field outside the inductor, which makes it possible to increase the accuracy of calculating the traction forces. The results of theoretical studies made it possible to establish that the efficiency of the interaction of the currents of the inductor and the secondary element of the LIM with the longitudinal magnetic flux depends on the magnitude of their phase shift and has a significant effect on the magnitude of the traction force of the MLT. Analytically, relations have been obtained for calculating the coefficient of attenuation of the electromagnetic force (tractive effort) depending on distribution of the current in the secondary element, which can be used in design of a linear induction motor for high-speed maglev transport.

Mathematical models have been developed for calculating the currents in the secondary element of a LIM with a transverse magnetic flux on the basis of Maxwell's equations, which make it possible to take into account the size of the air gap with the magnetic suspension of a high-speed vehicle, distribution of magnetic induction in the transverse direction and the relationship between geometric dimensions of the inductor and the secondary element. A new mathematical model of distribution of currents in the secondary element, considering the transverse edge effect, is proposed, which allows choosing its rational dimensions at the design stage of the maglev transport system with LIM. New relations are obtained for determining the coefficient of attenuation of the electromagnetic force of the LIM for high-speed MLT, taking into account the median effects, which increases the accuracy of calculations.

The optimal values of the average current density of the secondary element of LIM for MLT have been determined, considering the relationship between speed of movement and the geometric dimensions of the engine. It is proved that the increment of the current density of the secondary element of the traction LIM when it is displaced from the axis of symmetry in any direction will be negative. The study of the vicinity of the extremum (maximum) of the average current density of the secondary element showed that even a slight deviation from the optimum leads to a significant decrease in the current density and a decrease in the tractive effort. This is especially pronounced at low values of the pole pitch of the motor.

The features of regulation of a linear induction motor with a variable resistance of the short-circuited winding of the secondary element are investigated. Several field problems have been solved, establishing the relationship between the parameters of the groove of the secondary element of the LIM controlled traction and the magnetic field of the secondary element with partial closure of the rod conductors. Regularities of changes in the coefficients of an increase in the active and a decrease in the inductive resistance of the winding of the secondary element, depending on the number and location of short-circuited conductors, have been established. It has been proven that the effect of current displacement



in the secondary element groove manifests itself especially sharply when a part of the conductors that occupy more than 50 % of the groove height is short-circuited. In such cases, when calculating an adjustable LIM traction in the modes of starting the MLT from rest, while braking, changing the speed of movement, it is necessary to consider the displacement of the current in the groove.

Experimental studies on laboratory and prototypes of LIM for high-speed maglev rolling stock showed that the discrepancy between theoretical and experimental results does not exceed 10 %.

Designs of new traction LIM for maglev transport have been developed, protected by 2 copyright certificates of the USSR and 25 patents of the Russian Federation.

The results of the thesis research have received practical application in the design of the stand for the study of the equilibrium, stability and motion of combined electro-magnetic and electrodynamic suspensions for high-speed maglev transport (NII EFA named after D. V. Efremov, JSC State Atomic Energy Corporation Rosatom), as well as are used in research on new modes of transport within the framework of the RFBR_RZD grant No. 17-20-04236 «Magnetic cooling of promising transport and energy systems» at Kotelnikov Institute of Radio Engineering and Electronics of the Russian Academy of Sciences when developing stands for the study of atmospheric and vacuum maglev transport systems, in the educational process of RSTU, adopted for implementation at transport and industrial enterprises.

05.22.07 — Rolling stock of railways, train traction and electrification; 05.09.01 — Electromechanics and electrical devices. The work was performed at Rostov State Transport University.

Trofimova, L. S. Scientific foundations of the current planning of the operations of a freight motor transport enterprise under conditions of uncertainty in its development. Abstract of D.Sc. (Eng) thesis [Nauchnye osnovy tekushchego planirovaniya raboty gruzovogo avtotransportnogo predpriyatiya v usloviyakh neopredelennosti razvitiya. Avtoref. dis... doc. tekhn. nauk]. Omsk, SibADI publ., 2020, 32 p.

The performed studies of the relationship between freight road transport, maintenance and technical support of rolling stock during operation of motor transport enterprise using new information technologies in the form of computer programs under conditions of uncertainty in development can be qualified as new scientific and organizational developments for current planning aimed at solving a problem that is important in fulfilment of the target indicators outlined in the Transport strategy of the Russian Federation for the period up to 2030 in the field of effective development of road transport in the Russian Federation.

Due to the developed concept of current planning, a set of principles for application of methods of current planning, mathematical models and methods of innovative orientation, a major scientific problem of great economic importance has been solved — theoretical and methodological foundations for current planning of motor transport enterprise work have been developed, taking into account the relationship of cargo transportation and implementation of technical maintenance and current repair of rolling stock to comply with the main provisions of the Federal Law «On Road Safety» and aimed at achieving indicators of development of road transport, indicated in the Transport Strategy of the Russian Federation for the period up to 2030 in the context of existing uncertainty. The approbation and implementation of research results will ensure development of the Russian economy through implementation of the important socio-economic role of the current planning of the work of motor transport enterprise when the terms of contracts are fulfilled.

The performed analysis of indicators characterizing the current state of road transport in the Russian Federation made it possible to establish that the indicators of the Transport strategy of the Russian Federation for the period up to 2030 depend on performance indicators of the motor transport enterprise, which are formed taking into account changes in demand for road transport services in the structure of transported goods, their volumes, requirements with the parties of the Customers to the specialized rolling stock, the terms of cargo transportation. Indicators have been established that affect the results of motor

transport enterprise functioning in conditions of development uncertainty, which must be considered in current planning in relation to transportation of goods, maintenance and repair of rolling stock by motor transport enterprise standard sizes in order to fulfil contracts and make a profit.

The conceptual apparatus, aimed at developing theoretical foundations of the current planning of motor transport enterprise work, has been clarified, considering the probabilistic state of indicators of transportation of goods, maintenance and repair of rolling stock and the properties of types of activities in their mutual influence on each other, identified in the course of the developed classification of motor transport enterprise activities.

A strategy for application of the current planning of motor transport enterprise work has been developed, based on a new concept of current planning of motor transport enterprise work, the guiding idea of which is the synthesis of transportation of goods, maintenance and technical requirements of rolling stock, and includes the principles of applying the methods of current planning in operation of motor transport enterprise; a conceptual scheme for current planning of motor transport enterprise work, ensuring achievement of quantitative and qualitative indicators, according to which the motor transport enterprise can operate to fulfil the terms of contracts and make a profit.

Methods for current planning of motor transport enterprise work are proposed, aimed at determining the probabilistic indicators of functioning of rolling stock of the motor transport enterprise standard sizes when transporting goods in the city and in intercity traffic to fulfil the terms of contracts and make a profit.

The developed theoretical and practical toolkit for current planning of motor transport enterprise operation includes created mathematical models for functioning of a specialized rolling stock of motor transport enterprise standard sizes for fulfilling the terms of contracts for transportation of goods in the city and in intercity traffic, and software and mathematical support for the developed mathematical models.

The probabilistic parameters of mathematical models were determined with a

confidence level of 0,95 according to the established dependences of the influence of technical and operational indicators on production and mileage of a specialized substation of standard sizes of motor transport enterprise, obtained as a result of studies carried out experimentally in production conditions. A logarithmically normal law of distribution of length of a ride with a load in the city and in intercity traffic, the normal law of distribution of the mass of a shipment of cargo in intercity traffic has been established.

Methods have been developed for current planning of operation of specialized rolling stock of standard sizes of motor transport enterprise for transportation of goods in the city and in intercity traffic, in which mathematical models and software and mathematical support are applied to them, allowing:

- to plan operation of specialized rolling stock of standard sizes of motor transport enterprise to fulfil the terms of contracts in terms of production and mileage indicators with a confidence level of 0,95;

- to determine the volume of cargo transportation, taking into account the probability of performing transport work by a specialized substation of standard sizes of motor transport enterprise in the city, assessing the volume of cargo transportation by a specialized substation of standard sizes of motor transport enterprise in intercity traffic under contracts, if the lengths of trips with cargo correspond, the values of which are set with a confidence level of 0,95;

- to choose the working hours and the way of organizing the work of drivers to fulfil the terms of contracts on time of transportation of goods in intercity traffic;

- to determine quantitative and qualitative indicators of cargo transportation, maintenance and repair of rolling stock, costs, results, and profits.

Theoretical and experimental approbation of the developed methodological foundations, carried out at the motor transport enterprise and in the educational process of the university with the use of new computer programs, confirms the scientific and practical significance of the research results. The established volumes of cargo transportation, which were indicated in the contracts between the motor transport enterprise and the Customer, were fully implemented, a profit was obtained that



exceeded the profit calculated according to the indicators of the previously developed methodology by 14,5 % (339 248 rubles) – when transporting goods in the city, by 10,8 % (1 281 170 rubles) – when transporting goods in intercity traffic. The use of new computer programs made it possible to reduce the total labour intensity by 7,7 people • hours when planning cargo transportation in the city, by 9,6 people • hours when planning long-distance freight transportation for rolling stock of the same standard size of motor transport enterprise. The effectiveness of new computer programs is determined by the minimum response time of the system to the actions of the manager and was no more than three minutes. Practical testing of the developed requirements and recommendations for determining the working hours and the way of organizing the work and rest of drivers made it possible to avoid accidents due to the fault of drivers associated with fatigue while transporting goods in intercity traffic.

Further research will be aimed at development of improved theoretical foundations and methodological concepts for planning the operation of motor transport enterprise, the application of which is aimed at solving the problems of development of road transport in accordance with changes in the economy of the Russian Federation.

05.22.10 – Operation of road transport. The work was performed at Siberian State Automobile and Highway University (SibADI).

Zhukov, A. S. Substantiation of the design of a body of a passenger car made of extruded aluminium panels. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Obosnovanie konstruksii kuzova passazhirskogo vagona iz ekstrudirovannykh alyuminiyevykh panelei. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk]. Tver, JSC NO «TIV», 2020, 20 p.

Based on the analysis of foreign and domestic experience in the design and manufacture of passenger cars with bodies of aluminium alloys, a variant of the body structure of a passenger car with a cross-section and end parts formed from extruded aluminium profiles (panels) is proposed.

The necessity of supplementing the existing regulatory framework for carrying out design work with the requirements for the elements of the roof cladding and side walls of the car body

with a design different from the traditional one has been determined.

An approach is presented that allows at the design stage to check the compliance of the body of a passenger car with a design different from the traditional one to safety requirements specified in the regulatory documentation and formulates the requirements for the elements of the roof and side walls of the car body with a cross section made of extruded aluminium panels.

A finite element model of an aluminium body was developed, calculations were carried out for I and III design modes, which confirmed the compliance of the proposed design option with strength requirements.

To verify the model and determine dimensions of finite elements that provide the required accuracy of calculations with a minimum amount of time spent on the calculation, an experimental study of the extruded panel, proposed for forming the cross-section of the car body, was carried out.

A method for calculating extruded aluminium profiles has been developed, which makes it possible to significantly simplify the initial stages of developing the body structure.

A comparative calculation of the life cycle of aluminium and steel cars was performed, the results of which confirm the possibility of creating an economical structure using aluminium alloys.

The results obtained during implementation of the thesis work can be used to develop design solutions for design of bodies of passenger and freight cars with a design different from the traditional one, from various structural materials.

The prospect of further development of the topic is to consider optimization of the proposed design (reduction of metal consumption, the use of aluminium alloys with improved characteristics, etc.), its refinement, considering the methods of installing undercarriage and car interior equipment (including when considering the possibility of large-block assembly), clarification of the economic aspect within the framework of the steel and aluminium car.

05.22.07 – Railway rolling stock, train traction and electrification. The work was performed at Tver Institute of Wagon Design (CJSC NO TIV). The defence took place at Russian University of Transport. ●

НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ

For the list of the titles originally published in English, and for the English list of the titles published in Russian please see p. 256.

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-255-256>

Балакин В. В. Учёт экологических факторов в транспортном планировании и организации движения: Учеб. пособие. — Волгоград: ВолгГТУ, 2020. — 127 с. ISBN 978-5-9948-3645-3.

Быкова А. А., Канищев А. Н., Расстегаева Г. А., Рябова О. В. Технология и организация реконструкции автомобильных дорог: Учеб. пособие. — 2-е изд., перераб. и доп. — Воронеж: Воронежский гос. технический ун-т, 2020. — 127 с. ISBN 978-5-7731-0855-9.

Геленов А. А., Спиркин В. Г. Автомобильные эксплуатационные материалы: Учебник. — 3-е изд., испр. — М.: Академия, 2020. — 315 с. ISBN 978-5-4468-9426-0.

Герман А. П., Новиков В. В., Молоков К. А., Куценко Н. В. Экономическое обоснование проектных характеристик транспортных судов: Учеб. пособие для вузов. — Владивосток: Изд-во ДВФУ, 2020. — 119 с. ISBN 978-5-7444-4704-5.

Данилов Ю. А. Исследование условий навигационных аварий судов в узкостях на ограниченных глубинах: Монография. — Калининград: Изд-во БГАРФ, 2020. — 189 с. ISBN 978-5-7481-0432-6.

Ежова С. В., Ежов С. А., Лифантьев В. И. и др. Разработка модели энергосберегающей технологии автомобильных дорог: Монография. — Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2020. — 162 с. ISBN 978-5-8158-2175-0.

Зубрев Н. И., Журавлёва М. А., Сачкова О. С. Медико-биологические основы безопасности: Учеб. пособие. — М.: УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте, 2020. — 436 с. ISBN 978-5-907206-10-6.

Карасев С. В., Осипов Д. В., Сивицкий Д. А. Математическое моделирование систем и процессов на транспорте: Учеб. пособие. — Новосибирск: Изд-во Сибирского государственного университета путей сообщения, 2020. — 133 с. ISBN 978-5-00148-127-0.

Карпов И. Г., Лагерева С. Ю. Технология, механизация и автоматизация работ по техническому обслуживанию железнодорожного пути: Учеб. пособие. — Иркутск: ИрГУПС, 2020. — 98 с.

Климовец О. В. Транспортно-логистическое обеспечение международного бизнеса: Монография. — М.: НИЦ МИСИ, 2020. — 105 с. ISBN 978-5-93856-273-8.

Корольков Р. А. Методы расчёта армированных насыпей автомобильных дорог. — Краснодар: КубГТУ, 2020. — 147 с. ISBN 978-5-8333-0946-9.

Курочкин Л. Е., Истомин В. И. Экологическая безопасность на морских судах: Учеб. пособие. — М.: Центркаталог, 2020. — 107 с. ISBN 978-5-903268-33-7.

Маркетинг на транспорте: Учебник / Под ред. В. Г. Галабурды, Ю. И. Соколова. — М.: УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте, 2020. — 472 с. ISBN 978-5-907206-16-8.

Муравьёв Г. В., Томилин А. Н. Программно-диагностическое сопровождение процесса формирования профессиональной направленности у курсантов морского вуза: Монография. — Новороссийск: ГМУ им. адм. Ф. Ф. Ушакова, 2020. — 112 с. ISBN 978-5-89426-165-2.

Никифоров Б. В., Шмыга С. В. Электрохимические источники электроэнергии для автономных морских объектов. — СПб.: Петрополис, 2020. — 304 с. ISBN 978-5-9676-1189-6.

Новиков В. В., Турмов Г. П., Суров О. Э. и др. Повреждения и расчётный анализ прочности корабельных конструкций: Монография / Под науч. ред. Г. Ю. Илларионова. — Владивосток: Изд-во ДВФУ, 2020. — 264 с. ISBN 978-5-7444-4735-9.

Попович В. А., Гаврикова Н. В. Проблемы мирового океана (флот, спасение, судоподъём, судоремонт, экология). — М.: Транслит, 2020. — 592 с. ISBN 978-5-94976-135-9.

Романова А. Т. Интерактивные иерархические производственно-экономические системы в условиях высокودинамической среды: Учеб. пособие. — М.: УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте, 2020. — 334 с.

Себестоимость интермодальных перевозок: Учебник / Под ред. Л. В. Шкуриной. — М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2020. — 287 с. ISBN 978-5-907206-28-1.

Терёшина Н. П., Подсорин В. А. Управление инновациями на железнодорожном транспорте: Учебник. — М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2020. — 544 с. ISBN 978-5-907206-36-6.

Тимченко Т. Н., Филатова Е. В. Таможенное оформление морских контейнерных перевозок: Учеб. пособие. — 3-е изд. — М.: РIOR; Инфра-М, 2020. — 132 с. ISBN 978-5-369-01886-6.

Фомина Е. С., Васин А. А. Управление коллективом исполнителей на авторемонтном предприятии: Учебник. — 5-е изд., стер. — М.: Академия, 2020. — 223 с. ISBN 978-5-4468-8103-1.

Экономика железнодорожного транспорта. Вводный курс: Учебник: в 2 ч. / Под ред. Н. П. Терёшиной, В. А. Подсорина. — М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2020. — Ч. 1. — 472 с. ISBN 978-5-907206-32-8.

Подготовила Н. ОЛЕЙНИК ●





NEW BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION

For the original list of editions published in Russian please see p. 255.

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-255-256>

Balakin, V. V. Accounting for environmental factors in transport planning and traffic organization: Study guide [*Uchet ekologicheskikh faktorov v transportnom planirovani i organizatsii dvizheniya: Ucheb. posobie*]. Volgograd, VolgSTU, 2020, 127 p. ISBN 978-5-9948-3645-3.

Bykova, A. A., Kanishchev, A. N., Rastegaeva, G. A., Ryabova, O. V. Technology and organization of reconstruction of highways: Study guide [*Tekhnologiya i organizatsiya rekonstruktsii avtomobilnykh dorog: Ucheb. posobie*]. 2nd ed., rev. and enl. Voronezh, Voronezh State Technical University, 2020, 127 p. ISBN 978-5-7731-0855-9.

Danilov, Yu. A. Study of the conditions of navigation accidents of ships in narrow waters at limited depths: Monograph [*Issledovanie usloviy navigatsionnykh avari sudov v uzkostyakh na ogranichennykh glubinakh: Monografiya*]. Kaliningrad, BGARF Publishing House, 2020, 189 p. ISBN 978-5-7481-0432-6.

Ezhova, S. V., Ezhov, S. A., Lifantiev, V. I. [et al]. Development of a model of energy-saving technology for highways: Monograph [*Razrabotka modeli energosberegayushchei tekhnologii avtomobilnykh dorog: Monografiya*]. Yoshkar-Ola, Volga State Technological University, 2020, 162 p. ISBN 978-5-8158-2175-0.

Fomina, E. S., Vasin, A. A. Management of a team of workers at a car repair enterprise: Textbook [*Upravlenie kolektivom ispolnitelei na avtoremontnom predpriatii: Uchebnik*]. 5th ed., ster. Moscow, Academia publ., 2020, 223 p. ISBN 978-5-4468-8103-1.

Gelenov, A. A., Spirkin, V. G. Car consumables: Textbook [*Avtomobilnye ekspluatatsionnye materialy: Uchebnik*]. 3rd ed., rev. Moscow, Academia publ., 2020, 315 p. ISBN 978-5-4468-9426-0.

German, A. P., Novikov, V. V., Molokov, K. A., Kutsenko, N. V. Economic substantiation of design characteristics of transport vessels: Study guide for universities [*Ekonomicheskoe obosnovanie proektnykh kharakteristik transportnykh sudov: Ucheb. posobie dlya vuzov*]. Vladivostok, FEPU Publishing House, 2020, 119 p. ISBN 978-5-7444-4704-5.

Karasev, S. V., Osipov, D. V., Sivitsky, D. A. Mathematical modelling of systems and processes in transport: Study guide [*Matematicheskoe modelirovanie sistem i protsessov na transporte: Ucheb. posobie*]. Novosibirsk, Publishing house of Siberian State Transport University, 2020, 133 p. ISBN 978-5-00148-127-0.

Karpov, I. G., Lagerev, S. Yu. Technology, mechanization, and automation of railway track maintenance operations: Study guide [*Tekhnologiya, mekhanizatsiya i avtomatizatsiy rabot po tekhnicheskomu obsluzhivaniyu zheleznodorozhnogo puti: Ucheb. posobie*]. Irkutsk, IrGUPS publ., 2020, 98 p.

Klimovets, O. V. Transport and logistics support of international business: Monograph [*Transportno-logisticheskoe obespechenie mezhdunarodnogo biznesa: Monografiya*]. Moscow, NIC MISI, 2020, 105 p. ISBN 978-5-93856-273-8.

Korolkov, R. A. Methods for calculating reinforced road embankments [*Metody rascheta armirovannykh*

nasypei avtomobilnykh dorog]. Krasnodar, KubSTU, 2020, 147 p. ISBN 978-5-8333-0946-9.

Kurochkin, L. E., Istomin, V. I. Environmental safety on sea vessels: Study guide [*Ekologicheskaya bezopasnost' na morskikh sudakh: Ucheb. posobie*]. Moscow, Tsentrkatolog publ., 2020, 107 p. ISBN 978-5-903268-33-7.

Muravyov, G. V., Tomilin, A. N. Programmable diagnostic support of the process of forming a professional orientation among cadets of a maritime university: Monograph [*Programmno-diagnosticskoe soprovozhdenie protsessa formirovaniya professionalnoi napravlenosti u kursantov morskogo vuza: Monografiya*]. Novorossiysk, SMU n.a. F. F. Ushakov, 2020, 112 p. ISBN 978-5-89426-165-2.

Nikiforov, B. V., Shmyga, S. V. Electrochemical power sources for autonomous sea systems [*Elektrokhimicheskie istochniki elektroenergii dlya avtonomnykh morskikh ob'ektov*]. St. Petersburg, Petropolis publ., 2020, 304 p. ISBN 978-5-9676-1189-6.

Novikov, V. V., Turmov, G. P., Surov, O. E. [et al]. Damage and design analysis of the strength of ship structures: Monograph [*Povrezhdeniya i raschetny analiz prochnosti korabelnykh konstruktii: Monografiya*]. Ed. by G. Yu. Illarionov. Vladivostok, Publishing house of FEPU, 2020, 264 p. ISBN 978-5-7444-4735-9.

Popovich, V. A., Gavrikova, N. V. Problems of the World Ocean (fleet, rescue, ship raising, ship repair, ecology) [*Problemy mirovogo okeana: (flot, spasenie, sudopod'em, sudoremont, ekologiya)*]. Moscow, TransLit publ., 2020, 592 p. ISBN 978-5-94976-135-9.

Railway transport economics. Introductory course: Textbook: 2 parts [*Ekonomika zheleznodorozhnogo transporta. Vvodniy kurs: Uchebnik v 2 ch.*]. Ed. by N. P. Teryoshina, V. A. Podsorin. Moscow, Training and methodological centre of railway education, 2020, Part 1, 472 p. ISBN 978-5-907206-32-8.

Romanova, A. T. Interactive hierarchical manufacture and economic systems in a highly dynamic environment: Study guide [*Interaktivnie ierarhicheskie proizvodstvenno-ekonomicheskie sistemy v usloviyakh vysokodinamicheskoi sredy: Ucheb. posobie*]. Moscow, FGBU DPO Training and methodological centre of railway education, 2020, 334 p.

Teryoshina, N. P., Podsorin, V. A. Management of innovations in railway transport: Textbook [*Upravlenie innovatsiyami na zheleznodorozhnom transporte: Uchebnik*]. Moscow, FGBU DPO Training and methodological center for education on railway transport, 2020, 544 p. ISBN 978-5-907206-36-6.

The prime cost of intermodal transportation: Textbook [*Sebestoimost' intermodalnykh perevozok: Uchebnik*]. Ed. by L. V. Shkurina. Moscow, FGBU DPO Training and methodological centre of railway education, 2020, 287 p. ISBN 978-5-907206-28-1.

Timchenko, T. N., Filatova, E. V. Customs clearance for sea container shipping: Study guide [*Tamozhennoe oformlenie morskikh konteynernykh perevozok: Ucheb. posobie*]. 3rd ed. Moscow, Rior; Infra-M, 2020, 132 p. ISBN 978-5-369-01886-6.

Transport Marketing: Textbook [*Marketing na transporte: Uchebnik*]. Ed. by V. G. Galaburda, Yu. I. Sokolov. Moscow, FGBU DPO Training and methodological centre of railway education, 2020, 472 p. ISBN 978-5-907206-16-8.

Zubrev, N. I., Zhuravleva, M. A., Sachkova, O. S. Medico-biological bases of safety: Study guide [*Mediko-biologicheskie osnovy bezopasnosti: Ucheb. posobie*]. Moscow, FGBU DPO Training and methodological centre of railway education, 2020, 436 p. ISBN 978-5-907206-10-6.

Compiled by N. OLEYNIK ●

АНЕКДОТ

НА ОБОЧИНЕ

- Не верьте светофору — верьте приближающемуся транспорту.

- Если вам сигналият из машины, а вы не узнали водителя, то лучше просто уйти с проезжей части.

- Никогда не пейте за рулём. Если в вас врежется тот, кто за рулём пишет сообщения в телефоне, виноватыми окажетесь вы.

- Как было мило людям назвать самокаты самокатами ещё до того, как они научились ездить сами! Но мы в них верили, и они не подвели.

Современные афоризмы Modern sayings

- На самом деле ужасно много математики требуется для проектирования железной дороги, поддержания её в рабочем состоянии и обеспечения того, чтобы всё работало оптимально. Каждый раз, когда вам нужно, чтобы что-то было оптимальным, оказывается, что в игру вступает математика.

Ханна Фрай

- There's actually an awful lot of mathematics that goes into designing a railway, keeping it running, making sure everything runs optimally. Every time you need something to be optimal there's going to be some mathematics at play.

Hannah Fry

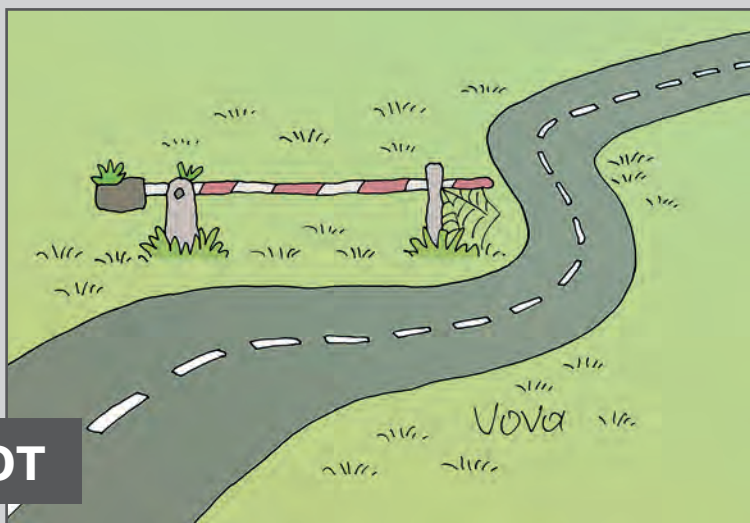
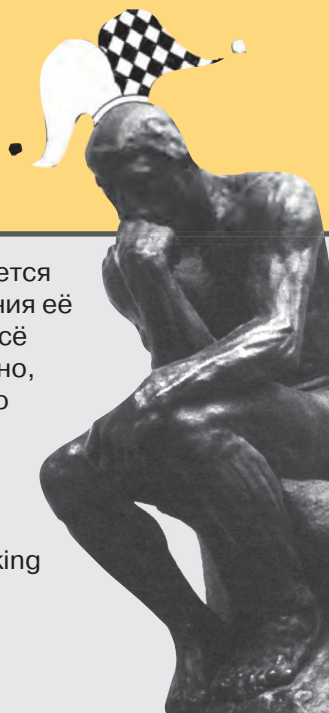


Рис. Владимир Иванов / Vladimir Ivanov





**World of Transport and
Transportation**

Vol.18, Issue 5, 2020

Editor-in-Chief **Boris Lyovin**

For your letters:

Mir Transporta,
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.
Тел/факс (495)684 2877
e-mail: mirtr@mail.ru
wtjournal@gmail.com



ISSN 1992-3252



9 771992 325778 >