

# ТРАНСПОРТ *МИР*

WORLD OF TRANSPORT  
AND TRANSPORTATION

**2** 2021  
Том / Vol. 19



**АВТОПЕРЕВОЗКИ: СТАНДАРТЫ  
И ПРОБЛЕМЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ**

**ROAD HAULAGE: STANDARDS  
AND PROBLEMS OF THEIR  
IMPLEMENTATION**



# КОНЦЕПЦИЯ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ ДЛЯ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА ДО 2035 ГОДА

**Р**аспоряжение об утверждении Концепции подготовки кадров для транспортного комплекса до 2035 года подписал Председатель Правительства РФ.

Документ позволит осуществлять подготовку специалистов современного уровня для транспортного комплекса, модернизацию образовательной, инновационной деятельности и научно-исследовательского процесса.

Приоритетными задачами в сфере транспортного образования являются: модернизация образовательной деятельности, цифровизация, продвижение образовательных продуктов за рубежом, вхождение ряда транспортных вузов в международные рейтинги, формирование моделей привлечения талантов, укрепление материальной базы.

В преподавании дисциплин будет сделан особый акцент на актуальных вопросах, в числе которых – комплексная трансформация транспортной и логистической инфраструктур, управление человеческими ресурсами, транс-

портная безопасность, стратегический менеджмент и интермодальные перевозки. При этом будет сформирован портфель образовательных программ нового уровня, ориентированный на динамично меняющиеся запросы отрасли и форсайт-прогнозы.

Важным фактором развития станет разработка онлайн-курсов нового поколения, интегрирующих виртуальные тренажёры и решения, основанные на технологиях больших данных искусственного интеллекта.

В результате реализации концепции образовательные организации должны стать устойчивой и современной площадкой кадрового и научно-технологического обеспечения транспортной отрасли, генераторами новых идей и технологий, международными центрами компетенций в области транспорта.

**По информации Министерства транспорта Российской Федерации: <https://mintrans.gov.ru/press-center/news/9859>**

## THE CONCEPT OF STAFF TRAINING FOR TRANSPORT INDUSTRY

**T**he order on approval of the Concept of staff training for the transport complex until 2035 has been signed by the Chairman of the Government of the Russian Federation.

The document will allow to train specialists with modern skills for the transport complex, it also provides for modernisation of educational, innovative activities and research process.

The priority tasks in the field of transport education comprise modernisation of educational activities, digitalisation, promotion of educational products abroad, the entry of a number of transport universities into international rankings, adoption of models for attracting talents, strengthening the infrastructure base of the universities.

Learning process will particularly focus on topical issues, including the comprehensive transformation of transport and logistics infrastructures, human resource management, transport safety and security, strategic management, and intermodal transportation.

Besides, a portfolio of new generation educational programs will be formed considering special emphasis on the dynamically changing needs of the industry, foresight, and forecasts, while development of a new generation of online courses that integrate virtual simulators and solutions based on artificial intelligence and big data technologies will be another important driver.

Thanks to the implementation of the concept educational organisations should become a sustainable and modern platform for staffing, research, scientific and technological support of the transport industry, generators of new ideas and technologies, international centres of competence in the field of transport.

**Based on the news release of the Ministry of Transport of the Russian Federation: <https://mintrans.gov.ru/press-center/news/9859>**

# ТРАНСПОРТ МИР

• ТЕОРИЯ • ИСТОРИЯ  
• КОНСТРУИРОВАНИЕ БУДУЩЕГО

2<sup>2021</sup>  
(93)

Издаётся  
Российским университетом  
транспорта.  
Учреждён МИИТ  
в 2003 году

Редакционный совет:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## СОДЕРЖАНИЕ

### ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

*Руслан ГУЧИНСКИЙ*

Применение упругих креплений оборудования для повышения частоты колебаний кузова вагона . . . . . 6

*Надежда ФИЛИППОВА, Игорь БАШМАКОВ, Денис КОЧЕГУРА*

Цели и риски деятельности как факторы регулирования в социальных системах на транспорте . . . . . 13

*Игорь ПОПОВ*

Модель трогания тяжёлого состава . . . . . 19

*Павел ГРИГОРЬЕВ, Сергей КОРЖИН,*

*Шерзод ИБОДУЛЛОВ, Фу Тхуан ЧАН*

Математическое моделирование колебаний вагонов-цистерн с учётом неполного заполнения ёмкости жидким грузом . . . . . 25

### НАУКА И ТЕХНИКА

*Анатолий ПОСТОЛИТ*

Автоматизация сбора первичных данных для формирования матрицы корреспонденций поездок пассажиров на основе компьютерного зрения и нейросетевых технологий . . . . . 32

*Юрий НЕМЦОВ, Игорь СЕРЁГИН, Пётр ВОЛЬНОВ*

Работоспособность базовых станций в цифровых сетях радиосвязи железнодорожного транспорта . . . . . 41

### ЭКОНОМИКА

*Евгения ТАРАСЕНКО*

Классификация объектов управления цепями поставок с целью обеспечения их устойчивости . . . . . 50

*Ольга ЕФИМОВА, Юрий СУРОДИН*

Моделирование и оптимизация бизнес-процесса документального сопровождения грузоперевозок для построения цифровой системы документооборота . . . . . 57

*Виталий АНТИПЕНКО, Николай БАБИЧ, Константин ГАЛКИН*

Оптимизация уровня запасов как задача логистики . . . . . 64

### ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

*Милош ПОЛЯК, Наталья ЛАХМЕТКИНА*

Нейтрализация транспортных документов на автомобильном транспорте . . . . . 70

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Б. А. ЛЁВИН** –  
главный редактор  
**Е. Ю. ЗАРЕЧКИН** –  
первый заместитель главного редактора

## ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ

**Е. С. АШПИЗ** –  
д.т.н., доцент РУТ  
**Л. А. БАРАНОВ** –  
д.т.н., профессор РУТ  
**А. М. БЕЛОСТОЦКИЙ** –  
д.т.н., профессор РУТ  
**Г. В. БУБНОВА** –  
д.э.н., профессор РУТ  
**Ю. А. БЫКОВ** –  
д.т.н., профессор РУТ  
**В. А. ГРЕЧИШНИКОВ** –  
д.т.н., доцент РУТ  
**В. Б. ЗЫЛЁВ** –  
д.т.н., профессор РУТ  
**В. И. КОНДРАЩЕНКО** –  
д.т.н., старший научный сотрудник РУТ  
**А. А. ЛОКТЕВ** –  
д.ф-м.н., профессор РУТ  
**С. Я. ЛУЦКИЙ** –  
д.т.н., профессор РУТ  
**О. Е. ПУДОВИКОВ** –  
д.т.н., доцент РУТ  
**В. Н. СИДОРОВ** –  
д.т.н., профессор РУТ  
**Н. П. ТЕРЁШИНА** –  
д.э.н., профессор РУТ  
**В. С. ФЁДОРОВ** –  
д.т.н., профессор РУТ  
**В. М. ФРИДКИН** –  
д.т.н., старший научный сотрудник РУТ  
**В. А. ШАРОВ** –  
д.т.н., профессор РУТ  
**А. К. ШЕЛИХОВА** –  
руководитель редакции

## РЕДАКЦИЯ

**И. А. ГЛАЗОВ** –  
редактор  
**Н. К. ОЛЕЙНИК** –  
технический редактор  
**М. В. МАСЛОВА** –  
английский перевод

При перепечатке ссылка на журнал «Мир транспорта» обязательна.

© «Мир транспорта», 2021

*Андрей ПОБЕДИНСКИЙ*

Проект организации безостановочного движения по Т-образным перекрёсткам на примере города Тюмени . . . . . 79

*Олег ЛАРИН*

Структурно-содержательная характеристика объекта комбинированных перевозок . . . . . 84

## БЕЗОПАСНОСТЬ, ЭКОЛОГИЯ, УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

*Дарья МИШИНА*

Снегозадерживающие лесные насаждения в мировой практике . . . . . 94

*Артур ДМИТРЕНКО, Михаил КОЛПАКОВ*

Анализ состояния вопроса утилизации низкопотенциальных энергетических ресурсов на объектах малой энергетики . . . . . 100

## ОБРАЗОВАНИЕ И КАДРЫ

*Владимир НИКИТИН, Михаил КАЛАШНИКОВ, Олеся ЛИТВИНОВА*

Нормирование труда руководителей транспортной компании на принципах организационного дизайна . . . . . 108

*Николай КОВАЛЕНКО, Виталий БУЧКИН, Юрий БЫКОВ, Елена ГРИНЬ*

Применение цифровизации при планировании контингента по техническому обслуживанию железнодорожной инфраструктуры . . 116

*Экспресс-информация*

ИКАО: подготовка персонала по обеспечению безопасности на ВПП . . . . 122

## КОЛЕСО ИСТОРИИ

*Дмитрий ЛЕВИН*

Первая железнодорожная магистраль России . . . . . 124

*Пресс-архив*

*П. А. ТВЕРСКОЙ*

Величайший пассажирский паровоз в мире . . . . . 137

## КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

*Анжела МАТРОСОВА*

Обзор книги «Труды по теории синтеза самопроверяемых схем встроенного контроля на основе двоичных избыточных кодов . . . 140

Авторефераты диссертаций . . . . . 144

Новые книги о транспорте . . . . . 148

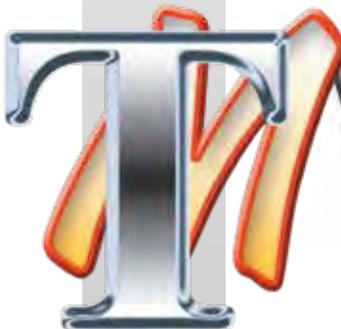
Журнал зарегистрирован в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций 20 декабря 2002 г. Регистрационный номер ПИ № 77-14165.

Журнал выходит 6 раз в год. Тираж 300 экз. Цена свободная.

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

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

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



# World of Transport and Transportation

•THEORY  
•HISTORY  
•ENGINEERING  
OF THE FUTURE

Vol. 19<sup>2021</sup>  
Iss. 2

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. Kuanyshiev**, D.Sc.  
(Eng), professor, deputy chairman  
of KAZPROFTRANS (Republic of  
Kazakhstan)

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

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

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

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

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

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

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

## CONTENTS

Page numbering below refers to the texts in English

### THEORY

*Ruslan V. GUCHINSKY*

Application of Elastic Fastenings of Equipment to Increase  
Vibration Frequency of the Wagon Body .....150

*Nadezhda A. FILIPPOVA, Igor A. BASHMAKOV, Denis Yu. KOCHEGURA*

Goals and Risks of Activity as Factors of Regulation  
in Social Systems in Transport Sector .....156

*Igor P. POPOV*

Heavy Train Starting Model .....161

*Pavel S. GRIGORIEV, Sergey N. KORZHIN,  
Sherzod R. IBODULLOEV, Phu Thuan TRAN*

Mathematical Modelling of Tank Wagon Vibrations  
Considering Partially Filling of the Tank with Liquid Cargo .....167

### SCIENCE AND ENGINEERING

*Anatoly V. POSTOLIT*

Automation of Collection of Primary Data  
for Development of a Passenger Origin-Destination Trip Correspondence  
Matrix Based on Computer Vision and Neural Network Technologies ... 174

*Yuri V. NEMTSOV, Igor V. SERYOGIN, Petr I. VOLNOV*

Performance of Base Stations in Railway Digital  
Radio Communication Networks .....183

### ECONOMICS

*Evgenia A. TARASENKO*

Classification of Objects of Supply Chain Management  
to Ensure Their Sustainability .....192

*Olga V. EFIMOVA, Yuri N. SURODIN*

Modelling and Optimisation of the Business Process  
of Documentary Support of Cargo Transportation for Building  
a Digital Document Management System .....199

*Vitaly S. ANTIPENKO, Nikolay S. BABICH, Konstantin V. GALKIN*

Optimisation of Inventory Levels as Logistics Challenge .....206

### ADMINISTRATION, MANAGEMENT AND CONTROL

*Miloš POLIAK, Natalia Yu. LAKHMETKINA*

Neutralization of Transport Documents in Road Transport .....212

## EDITORIAL BOARD

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

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

## BOARD MEMBERS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## EDITORIAL STAFF

**Ivan A. GLAZOV**,  
editor

**Natalia C. OLEYNIK**,  
editorial secretary

**Maria V. MASLOVA**,  
translator

© Mir Transporta  
© World of Transport  
and Transportation  
© English translation  
© 2021. All rights reserved.

*Andrey A. POBEDINSKY*

The Project of Organizing Non-Stop Traffic  
at T-Intersections (Tyumen Case Study) . . . . .221

*Oleg N. LARIN*

Structural and Content Characteristic  
of the Object of Combined Transport . . . . .226

## SAFETY, SUSTAINABILITY, ENVIRONMENTAL PROTECTION

*Daria Yu. MISHINA*

Living Snow Fences: International Practices . . . . .236

*Artur V. DMITRENKO, Mikhail I. KOLPAKOV*

Analysis of the Issue of Recovery  
of Low-Potential Energy at Small-Scale Energy Facilities . . . . .242

## HRM, EDUCATION & TRAINING

*Vladimir N. NIKITIN, Mikhail Yu. KALASHNIKOV,  
Olesya S. LITVINOVA*

Labour Rate Setting for Transport Company's Managers  
Based on the Principles of Organisation Design. . . . .250

*Nikolay I. KOVALENKO, Vitaly A. BUCHKIN,  
Yuri A. BYKOV, Elena N. GRIN*

Application of Digitalisation in Staffing Planning  
for Railway Infrastructure Maintenance . . . . .258

*Express information*

ICAO: Runway Safety Training . . . . .264

## HISTORY WHEEL

*Dmitry Yu. LEVIN*

The First Main Line in Russia . . . . .266

*News from the archives*

*P. A. TVERSKOY*

The Greatest Passenger Steam Locomotive in the World. . . . .279

## BIBLIO-DIRECTIONS

*Anzhela Yu. MATROSOVA*

Review of the book «Proceedings on the Self-Checking Embedded  
Control Circuits Synthesis Theory Based on Binary Redundant Codes» . .282

Selected Abstracts of D.Sc. and Ph.D. Theses Submitted  
at Russian Transport Universities . . . . .286

New Books on Transport and Transportation . . . . .291

Published quarterly since 2003. Bimonthly since 2013.

93 issues have been published since 2003.

Current issues are circulated in 300 hard copies available on subscription.

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

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

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

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

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



**ВАГОНЫ** **6**

*Упругие крепления оборудования для повышения частоты собственных колебаний вагона. Расчёт на основе метода конечных элементов.*



**УПРАВЛЕНИЕ  
РИСКАМИ** **13**

*Системы управления и учёт социальных и личностных рисков.*



**ПОДВИЖНОЙ  
СОСТАВ** **19**

*Модель трогания тяжёлого подвижного состава с упругими сцепками.*



**ВАГОН-ЦИСТЕРНА** **25**

*Как построить модель колебаний полностью заполненной цистерны?*

**ВОПРОСЫ ТЕОРИИ**





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ  
УДК 629.423:534.1  
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-1>

# Применение упругих креплений оборудования для повышения частоты колебаний кузова вагона



Руслан ГУЧИНСКИЙ

Руслан Валерьевич Гучинский<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup> ООО «ТМХ Инжиниринг», Санкт-Петербург, Россия.

<sup>2</sup> Институт проблем машиноведения РАН, Санкт-Петербург, Россия.

✉ [ruslan239@mail.ru](mailto:ruslan239@mail.ru).

## АННОТАЦИЯ

Улучшение динамических качеств является приоритетной задачей при проектировании нового подвижного состава. Частота собственных изгибных колебаний кузова – один из важнейших нормируемых показателей, предварительная оценка которого позволяет получать оптимальные конструкции кузова.

Цель работы состоит в оценке перспективности применения упругих креплений оборудования для повышения частоты собственных колебаний кузовов вагонов пригородного электропоезда. Для расчётов используются метод конечных элементов и блочный метод Ланцоша.

Показано, что для вычисления частот при моделировании целесообразно использовать инструмент жёсткой области и линейно упругие конечные элементы. Выделены основные диапазоны жёсткости креплений, при которых эффект при-

менения упругих опор различен. Определение жёсткости креплений предлагается выполнять по заданной частоте колебаний оборудования. При жёстком креплении относительная масса оборудования не влияет на значение частоты изгибных колебаний кузова. При упругом креплении большего эффекта удастся достичь при большей относительной массе оборудования. Эффект применения упругих опор увеличивается при расположении более тяжёлого оборудования ближе к центру кузова. Показано, что влияние сдвиговой податливости креплений на частоту колебаний кузова находится в пределах 1 % и может не учитываться при моделировании. В рассмотренном примере кузова вагона пригородного электропоезда применение упругих опор позволяет увеличить частоту колебаний кузова на 3–10 %.

**Ключевые слова:** железная дорога, кузов, электропоезд, жёсткость крепления, метод конечных элементов, модальный анализ, частота собственных колебаний, динамика вагона.

**Для цитирования:** Гучинский Р. В. Применение упругих креплений оборудования для повышения частоты колебаний кузова вагона // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 2 (93). С. 6–12. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-1>.

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

## ВВЕДЕНИЕ

Развитие современного железнодорожного транспорта предполагает увеличение конструкционных скоростей при обеспечении безопасности движения. Повышение скорости движения неизбежно вызывает сложности с обеспечением динамических качеств экипажной части. Один из путей решения этой проблемы состоит в снижении массы вагонов. Оптимизация конструкций экипажной части для снижения массы актуальна для любых скоростей движения, так как приводит к уменьшению износа в системе колесо–рельс, сокращению энергозатрат и увеличению пассажироместности [1].

Одним из элементов вагона с наиболее высокой удельной массой является кузов. Однако сокращение массы кузовов ведёт к уменьшению общей жёсткости, что негативно сказывается на частоте собственных колебаний, уровне виброускорений и, соответственно, показателях плавности хода. Повышенный уровень динамической нагруженности кузова может привести к возникновению усталостных повреждений [2]. Поэтому актуальной является разработка различных систем демпфирования. Для всего экипажа в первую очередь важен правильный выбор параметров двух ступеней рессорного подвешивания [3; 4]. Выбор конструктивного исполнения кузова, наиболее эффективного с точки зрения его массы и жёсткости, также важен для обеспечения динамических качеств. Один из нормированных параметров динамических качеств – это первая частота собственных изгибных колебаний кузова (ЧСИК). Например, в России, по отечественным нормативным документам её значение для полностью оборудованного кузова вагонов моторвагонного подвижного состава не должно быть менее  $8 \text{ Гц}^1$ . Этот параметр позволяет провести экспресс-оценку динамических качеств кузова без построения полной динамической модели. Чем выше значение ЧСИК, тем меньше будут средние уровни вертикальных ускорений и, при прочих равных, ниже показатели плавности хода. Повышения значения первой ЧСИК можно добиться с помощью новых конструкцион-

ных материалов, оптимизации конструкции кузова и расположения внутренних рёбер экструдированных панелей, вариацией в расположении оконных и дверных проёмов [5–8]. В случае применения жёсткого крепления подвагонного оборудования увеличения значения ЧСИК можно достичь с помощью рационального расположения ящиков [9]. Между тем, упругие крепления оборудования также могут влиять на динамические качества экипажа [10].

Исследования высокоскоростного подвижного состава показывают, что применение упругих опор при правильном выборе жёстких и демпфирующих свойств позволяет снизить амплитуды виброускорений в вертикальном и поперечном направлении и улучшить показатели плавности хода [11]. Параметры подвешивания должны быть тщательно подобраны, чтобы избежать резонанса при совместных колебаниях оборудования и кузова [12].

Демпфирование колебаний возможно за счёт применения активных и пассивных гасителей колебаний, виброизолирующих опор. Из-за высокой стоимости гасителей наиболее часто применяются виброизолирующие опоры. Однако при этом не удаётся достичь высоких показателей коэффициента демпфирования из-за значительного нагрева изолирующего материала, что увеличивает вероятность его старения и разрушения [13].

Динамические расчёты могут выполняться аналитически, – с применением дифференциального уравнения движения и балочной модели кузова [14], либо с использованием трёхмерных конечно-элементных моделей [11]. Последний способ является наиболее точным, так как позволяет адекватно учесть фактическую жёсткость кузова [15]. До настоящего времени исследования влияния податливости креплений оборудования проводились для скоростного подвижного состава без учёта влияния стоящих пассажиров [10; 12; 13].

Цель настоящей работы состоит в оценке перспективности применения податливых опор крепления оборудования для вагонов пригородных электропоездов, характеризующихся интенсивными колебаниями конструкции рамы. Для расчётов используются метод конечных элементов и блочный метод Ланцоша.

<sup>1</sup> ГОСТ 33796-2016. Мотор-вагонный подвижной состав. Требования к прочности и динамическим качествам. – С. 3.





Рис. 1. Конструктивная схема кузова вагона электропоезда (выполнена автором).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Конструкция кузова и методика расчёта

Кузов взятого для рассмотрения пригородного вагона (рис. 1), выполненный из конструкционной стали, состоит из рамы, боковых, торцевых стен и крыши. Для материала кузова задаются модуль Юнга  $2,1 \cdot 10^5$  МПа и коэффициент Пуассона, равный 0,3. Рассматривается конструкция, имеющая две плоскости симметрии, что при симметричном вертикальном нагружении позволяет использовать в расчётах четверть кузова. Рама кузова имеет классическую конструкцию, состоящую из обвязки замкнутого профиля, поперечных балок, шкворневых и сокращённых хребтовых балок. Шкворневые балки соединяются с обвязкой при помощи раскосов. Тамбуры расположены в торцевых частях кузова, имеются выходы на нижние платформы. В подвагонном пространстве располагаются четыре ящика оборудования одинаковой массы. Конструкция нагружается собственным весом брутто, включая вес сидящих и стоящих на свободной площади пола пассажиров из расчёта  $7 \text{ чел./м}^2$ . Расположение всех внутренних элементов вагона принято на основании конструкторской документации. Нагрузки прикладываются при помощи изменения плотности соответствующих частей кузова.

Кузов располагается на упругих опорах с вертикальной жёсткостью  $0,66 \text{ МН/м}$ , что соответствует общей жёсткости двух ступеней подвешивания для массы  $55000 \text{ кг}$  кузова вагона брутто. Так как рассматриваются только вертикальные колебания, жёсткости опор в остальных направлениях не учитываются во всех случаях, за исключением отдель-

ной оценки их влияния на ЧСИК. Для четырёх ящиков подвагонного оборудования выполнялась оценка влияния жёсткости креплений оборудования на ЧСИК. Масса каждого ящика составляет от  $275$  до  $1100 \text{ кг}$ . Жёсткость ящика моделировалась двумя способами – с использованием полной модели каркаса ящика и с помощью жёсткой области. Жёсткая область предполагает взаимное ограничение поступательных степеней свободы для главного узла, соответствующего центру масс ящика, и второстепенных узлов, которые располагаются в восьми точках крепления ящика – нижних узлах упругих элементов, моделирующих податливые крепления. Верхние узлы этих упругих элементов располагаются на кронштейнах и балках кузова в точках крепления оборудования.

Частоты собственных колебаний определяются с использованием программного комплекса ANSYS методом конечных элементов при помощи блочного метода Ланцоша. Для моделирования кузова и оборудования используются четырёхузловые элементы тонкой оболочки, одноузловые массовые элементы и двухузловые линейно-упругие элементы. Средний размер оболочечных конечных элементов в модели составляет  $50 \text{ мм}$ .

### Анализ результатов моделирования

Результаты расчёта ЧСИК при жёсткости креплений от  $0$  до  $1000 \text{ МН/м}$  приведены на рис. 2. Моделирование ящиков оборудования жёсткой областью приводит к погрешности определения верхней ЧСИК до  $1 \%$  (левая кривая) и нижней ЧСИК до  $3,5 \%$  (правая кривая) для данного исполнения кузова. В дальнейших расчётах жёсткость оборудования моделируется с помощью жёсткой области.

Собственные частоты колебаний ящиков оборудования как жёсткого целого при малой

<sup>2</sup> ГОСТ 33796-2016. Мотор-вагонный подвижной состав. Требования к прочности и динамическим качествам. – С. 3.

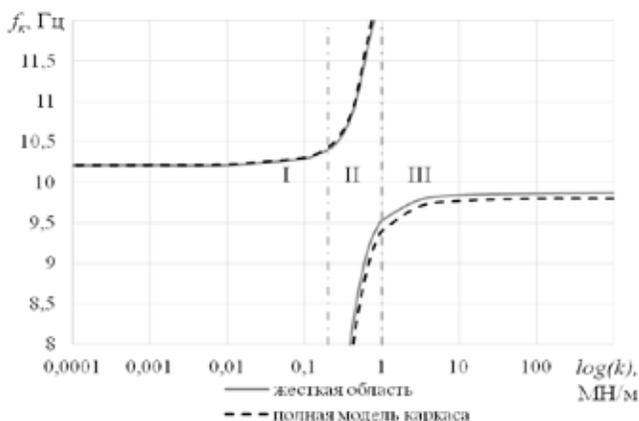


Рис. 2. ЧСИК при различной жёсткости крепления подвагонного оборудования общей массой 4400 кг (выполнено автором).

жёсткости креплений не вызывают изгибных колебаний кузова. Их колебания происходят на частотах 3–6 Гц, которые превышают частоту колебаний подпрыгивания кузова, но не превышают ЧСИК. С увеличением жёсткости креплений собственные колебания ящиков начинают приводить к изгибным колебаниям кузова, амплитуды которых возрастают. При определённом значении жёсткости креплений амплитуды колебаний кузова на нижней ЧСИК (при которой ящики и кузов испытывают синфазные колебания) становятся соизмеримыми с амплитудами на верхней ЧСИК (колебания ящиков и кузова в противофазе). При дальнейшем увеличении жёсткости креплений изгибные колебания кузова определяет нижняя ЧСИК (рис. 2). В предельном состоянии, когда жёсткость креплений велика (отсутствие упругих креплений), массы кузова и оборудования испытывают колебания также в одном направлении.

Таким образом, можно выделить три условных диапазона жёсткости креплений оборудования, которые оказывают влияние на динамические качества кузова. Первый диапазон малой жёсткости (рис. 2) характеризуется низкими частотами колебаний оборудования и не соответствует требованиям безопасности железнодорожного транспорта из-за возможного резонанса с колебаниями кузова на рессорном подвешивании. Второй диапазон средней жёсткости является переходным, и в его левой части сосредоточены значения жёсткости креплений, наиболее оптимальные с точки зрения улучшения динамических качеств кузова. Однако при значениях жёсткости, соответствующих его правой части, возможно появление низких

ЧСИК, что обесценивает применение упругих креплений. Наконец, в третьем диапазоне высокой жёсткости кузов испытывает синфазные колебания с ящиками оборудования на частотах, меньших значения частоты при жёстком креплении оборудования.

Также были получены значения ЧСИК для различных весовых долей оборудования. Значения жёсткости упругих креплений принимались по заданной собственной частоте колебаний оборудования как тела с одной степенью свободы:

$$k = \frac{4\pi^2 f^2 m_{об}}{n}, \quad (1)$$

где  $f$  — частота собственных колебаний оборудования;

$m_{об}$  — масса оборудования;

$n$  — число креплений ящика.

Рассмотрен диапазон частот колебаний оборудования 6–9 Гц. Для всех рассматриваемых жёсткостей креплений верхняя ЧСИК пропорциональна значению удельной массы оборудования (рис. 3). Следовательно, чем больше масса располагаемого на кузове оборудования, тем большего увеличения верхней ЧСИК можно достичь.

Задаваясь определенной частотой ящика для подбора жёсткости креплений, следует учитывать, что действительные собственные частоты ящиков могут быть, как показывает расчёт, на 2–5 % меньше обозначенной частоты. Это связано с дополнительной податливостью областей креплений в балках кузова.

Для эффективного уменьшения колебаний кузова с относительной массой оборудования 0,02–0,08 частота оборудования должна быть примерно на 12–42 % ниже ЧСИК на рессор-



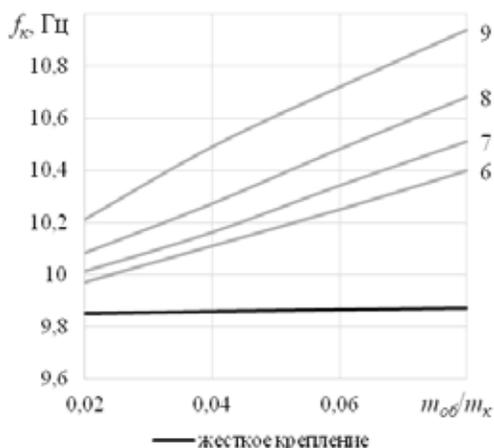


Рис. 3. Зависимость ЧСИК от удельной массы оборудования (справа – значения  $f$ , Гц) (выполнено автором).

ном подвешивании с учётом податливости креплений оборудования.

При заданной массе наибольшего влияния оборудования на ЧСИК можно достичь увеличением жёсткости его креплений. Однако значения жёсткости при этом должны принадлежать левой части переходного диапазона во избежание появления резонансных колебаний на нижней ЧСИК. Например, на рис. 4 показаны формы изгибных колебаний кузова для удельной массы оборудования 0,08 и частот колебаний оборудования 6 и 9 Гц. Если при частоте 6 Гц амплитуды колебаний кузова на нижней частоте на порядок меньше амплитуд на верхней (рис. 4а), то при частоте 9 Гц амплитуды колебаний отличаются в два раза (рис. 4б). Таким образом, использование жёсткости крепления оборудования выше 0,44 МН/м (что соответствует частоте колебаний оборудования 9 Гц) в данном случае может привести к нежелательному появлению резонансных колебаний на нижней ЧСИК 8,38 Гц (рис. 4б). Фактически это будет означать отрицательный эффект при-



Рис. 4. Формы колебаний кузова на верхней (сверху) и нижней (снизу) ЧСИК при частоте колебаний оборудования 6 (а) и 9 (б) Гц (выполнено автором).

менения податливых креплений, так как ЧСИК при жёстком креплении оборудования в этом случае составляет 9,85 Гц.

При жёстком креплении оборудования ЧСИК на податливых опорах не зависит от удельной массы оборудования. В то же время известно, что наблюдается пропорциональное увеличение ЧСИК на жёстких опорах с увеличением удельной массы жёстко закреплённого оборудования [9].

Влияние расположения ящиков подвагонного оборудования оценивалось по расчётам для моделей с четырьмя, двумя и одним ящиком одинаковой общей массой 4,4 т. Каждый ящик имел восемь креплений (рис. 5).

При расположении оборудования в четырёх ящиках верхняя ЧСИК оказывается наименьшей. При расположении оборудования по сторонам вагона в двух ящиках или в центре кузова в одном ящике ЧСИК увеличивается примерно на 2–3 % (табл. 1). Нестабильность значений частот в случае одного или двух ящиков объясняется разной податливостью балок крепления. Более удалённое расположение оборудования от центра кузова приводит к меньшей компенсации колебаний кузова в противофазе с оборудованием и, соответственно, к меньшему значению ЧСИК. Таким образом, наиболее эффективно располагать тяжёлое оборудование на упругих опорах в местах с наибольшими амплитудами колебаний кузова, то есть около его центрального сечения. Тем не менее, более важным является выбор оптимального значения жёсткости креплений оборудования, позволяющий увеличить ЧСИК в рассматриваемом примере на 3–10 %.

Виброизолирующие опоры обычно обладают податливостью не только в вертикальном, но и в продольном и поперечном направлениях [13]. Для оценки влияния сдвиговой жёсткости опор в двух остальных направлениях на ЧСИК модель кузова была дополнена упругими элементами в областях крепления, обеспечивающими учёт жёсткости опор в продольном и поперечном направлении. Таким образом, каждая опора крепления ящика оборудования моделировалась тремя независимыми упругими элементами.

Результаты расчёта показаны на рис. 6. Значения ЧСИК, соответствующие кривой 1, получены без учёта сдвиговой жёст-

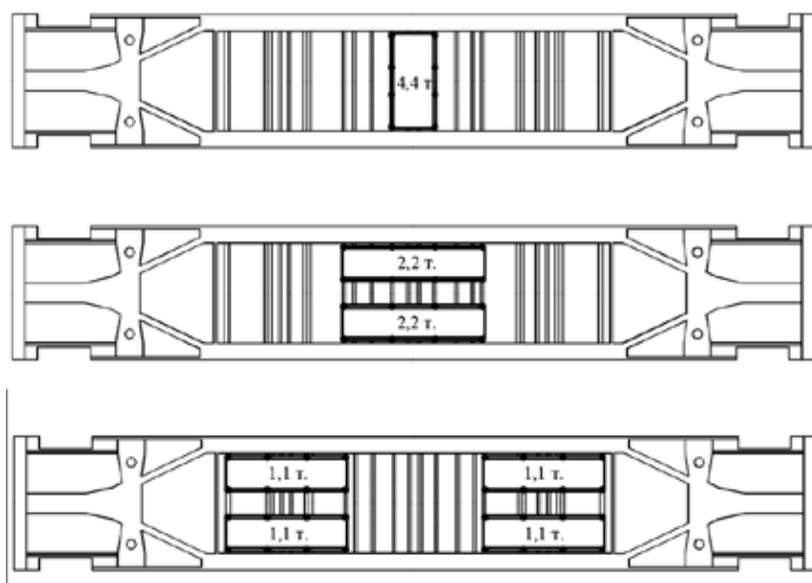


Рис. 5. Варианты расположения подвагонного оборудования (выполнено автором).

Таблица 1

### Влияние расположения оборудования на ЧСИК

Частота колебаний оборудования, Гц	ЧСИК при количестве ящиков, Гц		
	1	2	4
6	10,61	10,62	10,4
7	10,77	10,8	10,51
8	10,94	11,02	10,68
9	11,13	11,28	10,94

кости креплений, кривой 2 – с учётом абсолютной сдвиговой жёсткости. Результаты, полученные при любых действительных значениях сдвиговой жёсткости, располагаются между этими кривыми, например, для случая равенства жёсткости креплений в трёх направлениях (маркеры на рис. 6). Для значений вертикальной жёсткости, которые могут использоваться в целях повышения ЧСИК (0,1–0,7 МН/м), различия в значениях ЧСИК при различных сдвиговых жёсткостях не превышают 1 %. Поэтому при выборе жёсткости креплений оборудования сдвиговой жёсткостью можно пренебречь. Такое упрощение допустимо в случае рассмотрения изгибной формы кузова, характеризующейся интенсивными вертикальными колебаниями. Однако, в случае рассмотрения других форм колебаний (например, несимметричной ромбовидной [16]), сдвиговые жёсткости могут

оказывать более значительное влияние на частоту собственных колебаний.

### ВЫВОДЫ

Установка оборудования на податливые крепления при оптимальном подборе их жёсткости приводит к увеличению ЧСИК вагона пригородного электропоезда. Предварительный подбор жёсткости креплений можно осуществлять по значениям собственной частоты колебаний оборудования.

Моделирование оборудования, устанавливаемого на податливые опоры, наиболее рационально выполнять с помощью линейных упругих элементов и инструмента жёсткой области, который позволяет оценить ЧСИК с погрешностью не более 1 % по сравнению со способом полного моделирования каркаса оборудования. При этом влияние сдвиговой жёсткости опор на ЧСИК составляет менее 1 % и может не учитываться.



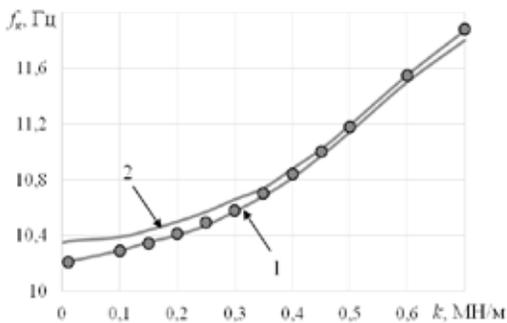


Рис. 6. Зависимость ЧСИК от вертикальной жёсткости креплений оборудования при абсолютной податливости (1), абсолютной жёсткости (2) креплений в двух перпендикулярных направлениях. Маркеры – одинаковая жёсткость креплений в трёх направлениях (выполнено автором).

Наиболее тяжёлое оборудование при установке его на податливых креплениях целесообразно располагать ближе к центру кузова для более эффективной компенсации изгибных колебаний кузова.

При постоянной массе брутто кузова увеличение относительной массы оборудования на податливых креплениях от 0,02 до 0,08 приводит к увеличению ЧСИК на упругих опорах и практически не вызывает изменения ЧСИК в случае жёсткого крепления оборудования.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Lee, H. A., Jung, S.-B., Jang, H.-H., Shin, D.-H., Lee, J. U., Kim, K. W., Park, G.-J. Structural-optimization-based design process for the body of a railway vehicle made from extruded aluminum panels. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 2016, Vol. 230 (4), pp. 1283–1296. DOI: <https://doi.org/10.1177/0954409715593971>.
- Гучинский Р. В., Петинов С. В. Разработка узла конструкции судна по условию усталостной долговечности // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – 2012. – № 159. – С. 177–186.
- Sugahara, Y., Takigami, T., Kazato, A., Kogane, R., Sampei, M. Suppression of vertical vibration in railway vehicles by controlling the damping force of primary and secondary suspensions. QR of RTRI, 2008, Vol. 49, pp. 7–15. [Электронный ресурс]: [jstage.jst.go.jp/article/rtriqr/49/1/49\\_1\\_7/\\_pdf](http://jstage.jst.go.jp/article/rtriqr/49/1/49_1_7/_pdf). Доступ 21.01.2021.
- Скачков А. Н., Трифионов В. Е., Зайцев А. В. Обзор методов гашения вертикальных изгибных колебаний кузовов современных пассажирских вагонов // Сб. науч.

тр. VIII Всерос. науч.-тех. конф. «Проблемы и перспективы развития вагоностроения». – Брянск. – 2019. – С. 166–169.

- Seo, S. I., Kim, J. S., Cho, S. H. Development of a hybrid composite bodyshell for tilting trains. Proc. Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 2008, Vol. 222, Iss. 1, pp. 1–13. DOI: 10.1243/09544097JRR96.

- Koenig, J., Friedrich, H. E. Integral consideration of the lightweight design for railway vehicles. Rep. German Aerospace Center – Institute of Vehicle Concepts, 2012, 13 p. [Электронный ресурс]: [https://elib.dlr.de/70976/1/Integral\\_consideration\\_of\\_the\\_lightweight\\_design\\_for\\_railway\\_vehicles.pdf](https://elib.dlr.de/70976/1/Integral_consideration_of_the_lightweight_design_for_railway_vehicles.pdf). Доступ 21.01.2021.

- De La Guerra, E. Lightweight primary structures for High-speed railway carbodies. 360.revista de alta velocidad, 2018, No. 5, pp. 9–21. [Электронный ресурс]: [https://www.tecnica-vialibre.es/en/ficharticulo\\_en.asp?item=178](https://www.tecnica-vialibre.es/en/ficharticulo_en.asp?item=178). Доступ 21.01.2021.

- Wennberg, D., Stichel, S. Multi-functional design of a composite high-speed train body structure. Struct Multidisc Optim, 2013, Vol. 50 (3), pp. 475–488. DOI: 10.1007/s00158-014-1056-4.

- Гучинский Р. В. Влияние жёсткости оборудования на собственную частоту изгибных колебаний кузова вагона электропоезда // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2018. – Т. 77. – № 4. – С. 251–255.

- Dumitriu, M. Numerical study of the influence of suspended equipment on ride comfort in high-speed railway vehicles. Transactions on Mechanical Engineering (B) (Scientia Iranica B), 2020, Vol. 27 (4), pp. 1897–1915. DOI: 10.24200/SCI.2019.50946.1930.

- Sun, Wenjing; Zhou, Jinsong; Gong, Dao; You, Taiwen. Analysis of modal frequency optimization of railway vehicle car body. Advances in Mechanical Engineering, 2016, Vol. 8 (4), pp. 1–12. DOI: 10.1177/1687814016643640.

- Gong, Dao; Zhou, Jinsong; Sun, Wenjing. Influence of under-chassis-suspended equipment on high-speed EMU trains and the design of suspension parameters. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 2016, Vol. 230 (8), pp. 1790–1802. DOI: 10.1177/0954409715614601.

- Sun, You; Gong, Dao; Zhou, Jinsong. Study on Vibration Reduction Design of Suspended Equipment of High Speed Railway Vehicles. Journal of Physics: Conference Series, 2016, Vol. 744, pp. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/744/1/012212>.

- Guo, Jinying; Shi, Huailong; Luo, Ren; Wu, Pingbo. Parametric Analysis of the Car Body Suspended Equipment for Railway Vehicles. IEEE Access, 2019, Vol. 7, pp. 88116–88125. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2918777.

- Гучинский Р. В., Петинов С. В. Предварительный расчёт частоты собственных изгибных колебаний кузовов вагонов электропоездов // Вестник института проблем естественных монополий: техника железных дорог. – 2019. – № 2 (46). – С. 50–57.

- Aida, K., Tomoioka, T., Takigami, T., Akiyama, Y., Sato, H. Reduction of Carbody Flexural Vibration by the High-damping Elastic Support of Under-floor equipment. QR of RTRI, 2015, Vol. 56, Iss. 4, pp. 262–267. DOI: 10.2219/rtriqr.56.4\_262.

### Информация об авторе:

Гучинский Руслан Валерьевич – кандидат технических наук, эксперт бюро кузовов ОП ООО «ТМХ Инжиниринг»; с.н.с. лаборатории прикладных исследований Института проблем машиноведения РАН, Санкт-Петербург, Россия, [ruslan239@mail.ru](mailto:ruslan239@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 21.01.2021, одобрена после рецензирования 21.04.2021, принята к публикации 23.04.2021.



# Цели и риски деятельности как факторы регулирования в социальных системах на транспорте



Надежда ФИЛИПОВА



Игорь БАШМАКОВ



Денис КОЧЕГУРА

*Надежда Анатольевна Филиппова<sup>1</sup>, Игорь Александрович Башмаков<sup>2</sup>, Денис Юрьевич Кочегура<sup>3</sup>*

<sup>1, 2</sup> Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва, Россия.

<sup>3</sup> Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия.

<sup>1</sup> ✉ [madizp@mail.ru](mailto:madizp@mail.ru).

## АННОТАЦИЯ

Существенные изменения, которые происходят в настоящее время во внешней среде, являются объективными предпосылками появления новых методов управления, которые определяют практический период перехода предприятий от стратегического планирования к стратегическому управлению (переводу мышления от будущего к настоящему по принципу «здесь и сейчас»).

Так, например, крупные производственные структуры ориентированы на стабильность, поэтому медленно реагируют на изменения внешней среды, слабо идут на риск, склонны к традиционным решениям. Модифицирующие варианты, развитые в крупных предприятиях, по своей сути есть развивающие то, что есть, а также дополняющие и дифференцирующие, когда ограниченность возможностей какой бы то ни было эволюции любой системы может быть только в ее пределах.

Эффективность отражает результаты развития, но не тождественна результатам, так как никакая экономия

одних факторов производства не может быть достигнута без дополнительных затрат других. И здесь стратегия превращается в реальную только в результате концепции разработки новых конкретных продуктов или процессов при условии соблюдения следующего индикатора прогресса: при минимуме затрат максимум освоенного.

Целью исследования является определение современных факторов регулирования в социальных системах на транспорте, сокрытых в целях и рисках такой деятельности. Предметом изучения являлся автомобильный транспорт. В статье используются методы теоретического и эмпирического исследования в отношении целей и рисков, которые можно определять и наблюдать в деятельности транспортных социально-технических систем.

Цели и риски определяются как факторы, позволяющие регулировать ключевые показатели деятельности социально-технических систем, влияющих на их эффективность.

**Ключевые слова:** транспорт, риски, снижение рисков, управление рисками, регулирование рисков, риски на транспорте, выявление рисков, эффективность.

**Для цитирования:** Филиппова Н.А., Башмаков И. А., Кочегура Д. Ю. Цели и риски деятельности как факторы регулирования в социальных системах на транспорте // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 2 (93). С. 13–18. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-2>.

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



## ВВЕДЕНИЕ

Транспортная отрасль является одной из наиболее подверженных риску, что требует от транспортных компаний использования эффективных стратегий управления рисками предприятия. Используя правильные методы и инструменты, эти компании могут снизить значительную часть своих рисков и лучше реагировать на такие ситуации, когда они возникают [1].

Современные факторы регулирования в социальных системах на транспорте кроются в актуальных на данный момент целях транспортной деятельности, включающих в себя работу в интересах клиентов, добросовестное исполнение взятых на себя обязательств, поддержку и развитие взаимовыгодных, долгосрочных отношений с партнёрами. Помимо этого, современные факторы регулирования в социальных системах на транспорте тесно связаны с рисками как неотъемлемыми компонентами транспортной деятельности. Управляя рисками, можно эффективно воздействовать как на социальные, так и на технические компоненты транспортных систем.

Управление рисками – это процесс аналитической и управленческой деятельности, направленный на выявление и реакцию на возникающую неопределённость, присущую управлению сложной системой и её активами.

Риски, с которыми сталкиваются транспортные компании, например, в сфере автомобильных перевозок, могут быть разными, но могут включать в себя целостность и безопасность автопарка, безопасность и удержание водителей, а также вопросы соблюдения требований. На некоторые из этих рисков напрямую влияют внешние факторы, в частности погодные явления, движение и дорожные условия. Перевозчики также берут на себя множество других рисков. Они несут ответственность за доставку тех грузов, которые поддерживают бизнес их клиентов-грузоотправителей. Любые сбои, включая несчастные случаи, потерю груза или финансовые проблемы, могут вызвать сбой в цепочке поставок, который наносит ущерб репутации и снижает прибыль [2].

Некоторые из «современных» рисков, с которыми сталкивается транспортная отрасль, связаны с развитием технологий, киберуязвимостью и колебаниями рынка, вызванными международными торговыми

спорами. Кроме того, к таким рискам может относиться нехватка квалифицированных водителей, соблюдение нормативных требований и состояние дорожной инфраструктуры. Хотя многие из этих рисков неподконтрольны транспортным компаниям, есть действия, которые они могут предпринять, чтобы снизить свои риски и иметь возможность отреагировать на них надлежащим образом [3].

*Целью* исследования является определение современных факторов регулирования в социальных системах на транспорте, сокрытых в целях и рисках такой деятельности. Используются *методы* теоретического исследования, опирающиеся на изучение степени проработанности подобных вопросов другими учёными, их актуальности, критической оценки. Помимо теоретического, применены методы эмпирического исследования в отношении целей и рисков, выраженные в изложении информации, полученной опытным путём.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Цели и риски на транспорте

Внедрение управления транспортными рисками – это способ оценки конкретных рисков и разработки стратегии борьбы с этими рисками.

С учётом ключевого влияния транспортных рисков на коммерческую деятельность каждая транспортная компания должна разработать решение для управления ими, которое будет определять их политику и операции. Решение не только снижает риски, но и может служить мощным инструментом продаж, который привлечёт грузоотправителей, которые хотят быть уверенными, что их товары находятся в надёжных руках.

Когда транспортная компания не может применить на практике эффективное решение по управлению транспортными рисками, руководство сообщает своим сотрудникам и клиентам, что управление рисками не является приоритетом. Это может пагубно сказаться на моральном духе, привлечении сознательных, квалифицированных водителей и выигрыше в бизнесе. Многие грузоотправители сейчас спрашивают своих перевозчиков, какие существуют правила для снижения рисков, которые могут повлиять на их перевозки. Без конкретного и чёткого решения по управлению рисками, которое они могут

легко показать клиентам и определить уровень имеющихся рисков, грузоотправители, скорее всего, уйдут к другому перевозчику. На карту ставится слишком многое, чтобы рисковать.

Главной заботой современного перевозчика является обеспечение бесперебойной работы цепочки поставок. В рамках своих усилий по управлению транспортными рисками перевозчики должны учитывать страховое покрытие и условия его обеспечения, ответственность на каждом этапе цепочки поставок, планы обеспечения непрерывности бизнеса, стоимость своих грузов, а также обеспечивать предотвращение потерь [4].

Управление транспортными рисками может и не быть одинаковым для каждой компании. Однако есть основополагающие элементы, которые каждая транспортная компания должна внедрять в свою практику. Можно предложить несколько полезных рекомендаций транспортным компаниям, стремящимся снизить риски, присущие их отрасли:

- развитие исполнительской поддержки для управления рисками;
- определение принципов управления рисками и ответственности организации;
- формализация подходов к управлению рисками с использованием целостного подхода для поддержки принятия решений и улучшения успешного достижения стратегических целей и задач;
- использование управления рисками для пересмотра существующих политик, процессов и стандартов;
- внедрение управления рисками в существующие бизнес-процессы, чтобы при объединении активов, росте производительности и управлении рисками происходило успешное принятие решений;
- выявление владельцев рисков и управление рисками на соответствующем уровне;
- использование процесса управления рисками для поддержки распределения рисков при принятии решений, создании программ и проектов;
- использование управления рисками для получения экономического обоснования для транспортировки и завоевания доверия заинтересованных сторон;
- использование сложных инструментов анализа рисков с сообщением результатов заинтересованным сторонам.

Современные решения позволяют перевозчикам выявлять риски, анализировать их серьёзность и автоматизировать задачу поиска альтернатив с меньшим риском. Обнаружение включает идентификацию груза и переменных, которые могут повлиять на его доставку. Неблагоприятные погодные условия, экстремальные температуры, социальные опасности, стихийные бедствия и отключение (отказ) инфраструктуры являются одними из наиболее распространённых рисков [4].

Затем решение может учесть эти идентифицированные риски и оценить их вероятность возникновения на любом этапе маршрута доставки. Это важный фактор, который следует принимать во внимание, потому что, если смотреть только на места получения и доставки, каждая промежуточная точка игнорируется, а именно здесь могут произойти самые большие перебои. Большинству перевозчиков не хватает персонала, технологий или времени, чтобы собрать такой объём информации, особенно когда несколько грузов перемещаются в разные места в масштабах крупного региона или по всей стране. Технологии значительно повысили точность, масштаб и скорость обнаружения этих данных, и за последнее десятилетие оно значительно улучшилось.

Помимо выявления потенциальные риски должны подвергнуться анализу, чтобы узнать их вероятность, серьёзность, географию и сроки. Например, вероятность прогнозируемого ледяного дождя может составлять 70 % в одном из северных регионов на маршруте в понедельник, но, если ожидается, что подвижной состав покинет этот регион в воскресенье, отгрузка может быть осуществлена в соответствии с графиком. В качестве альтернативы, если не ожидается, что подвижной состав будет в этом состоянии до вторника, существует оцениваемый в 50 % шанс, что он будет задержан из-за обледенения дороги.

Здесь может быть эффективным следующий этап процесса управления рисками: принятие решений. Имея такую информацию, перевозчик может решить, когда должна начаться отгрузка. Если перенести дату получения на более раннюю неделю или отложить её до тех пор, пока температура не поднимется выше нуля, груз может миновать ледяной дождь. Да, отгрузка может быть ранней или поздней, в зависимости от этого решения, но груз будет безопасен и не будет подвержен





влиянию низких температур или скользких дорог, которые могут привести к повреждению груза и/или подвижного состава [5].

Перевозчик может лучше запланировать дату получения, определить, какой риск он готов взять на себя с каждой отправкой, решить, какое оборудование может понадобиться для защиты груза, определить, какой вид транспорта лучше всего. Эта фаза принятия решения должна включать точные данные в режиме реального времени и прогнозные данные, представленные в ясной форме.

Гибкое планирование – это и есть управление транспортными рисками, и оно имеет решающее значение, чтобы оставаться конкурентоспособными, прибыльными и приносить пользу своим клиентам.

Ключом к поиску решения в управлении транспортными рисками является понимание их прозрачности. Как грузоотправителям, так и перевозчикам необходимо в режиме реального времени получать информацию об отправлениях: что находится в каждом подвижном составе, как следует транспортировать конкретный груз, маршруты доставки, ожидаемые и фактические сроки получения и доставки, а также все переменные, которые могут повлиять на эти различные элементы [6].

Переменных много, а некоторые из них непредсказуемы. Погода, стихийные бедствия, преступность, протесты или беспорядки, проблемы с инфраструктурой, здоровье и безопасность водителей и другие проблемы могут прямо или косвенно повлиять на надёжность доставки. Прогнозируя эти переменные заранее, перевозчики могут лучше устанавливать соответствующие ожидания, снижать затраты и обеспечивать надлежащий уход и доставку грузов в соответствии с ожиданиями.

Такой тип детальной видимости, конечно, требует соответствующей технологии, но не базовой или устаревшей. Сегодня всё больше компаний полагаются на искусственный интеллект, когнитивные технологии и машинное обучение для сбора данных, которые распределены по нескольким системам. Возможности есть, и теперь транспортная отрасль должна использовать их, чтобы «управлять» своими решениями.

При поиске решения для управления транспортными рисками обязательно надо найти такое, что устраняет все угрозы риска для компании, а также предоставляет полезные данные, которые будут использоваться

для принятия решений. Это означает, что компания должна знать свои риски, регулярно проводя тщательную их оценку. Транспортные компании должны спросить себя: «Какие риски могут повлиять на стратегические цели и задачи компании? Как мы должны расставить приоритеты для наших инвестиций? Какова вероятность доставки в срок и в рамках бюджета» [7]?

Когда эти факторы будут понятны, можно будет разработать решение по управлению рисками.

Помимо погоды и других переменных, которые могут повлиять на работу перевозчика, всегда есть проблемы, связанные с безопасностью. Если, например, водитель не придерживается правил безопасного вождения, риску подвергается не только груз, но и компания, которая может стать причиной несчастных случаев, травм и даже смерти. Компании несут ответственность за каждый подвижной состав, выезжающий из склада/хранилища/дока. Ответственность за соблюдение водителями правил техники безопасности и исправность парка подвижного состава лежит на перевозчике. Эти соображения имеют решающее значение для снижения рисков.

Соответствие, безопасность, подотчётность являются основой риск-предупреждающих мероприятий, возлагая на перевозчиков и их водителей ответственность за соблюдение правил, которые напрямую влияют на безопасность [8].

### **Факторы регулирования риска в социальных системах на транспорте**

К факторам рисков в социальных системах на транспорте можно отнести:

1. *Небезопасное вождение* – небезопасное управление коммерческим транспортным средством, например, превышение скорости, безрассудное вождение, неправильная смена полосы движения, невнимательность и т.д. [9].

2. *Несоблюдение часов работы* – нарушение или несоблюдение правил рабочего времени или вождение в утомлённом состоянии.

3. *Пригодность водителя* – водители должны иметь надлежащее состояние здоровья, психологические и личностные качества, а также соответствующую подготовку и опыт для безопасного управления транспортным средством.

4. *Запрещённые вещества/алкоголь* – злоупотребление лекарствами, отпускаемыми по рецепту или без рецепта, или изменение в худшую сторону состояния водителя из-за запрещённых веществ.

5. *Техническое обслуживание транспортного средства* – несоблюдение правил технического обслуживания транспортного средства (фары, тормоза, необходимый ремонт повреждений, своевременное ТО).

6. *Несоблюдение правил перевозки опасных грузов* – недопущение протечек контейнеров и цистерн с опасными веществами, неправильная маркировка, неправильно упакованный и погруженный опасный груз.

7. *Индикатор сбоев* – частота и серьёзность сбоев.

Целью управления транспортными рисками не является устранение рисков. Риски присущи каждой отрасли, и многие из них полностью неподконтрольны какой-либо организации. Вместо этого управление транспортными рисками служит системой для прогнозирования потенциальных сбоев с одной целью: помочь транспортным компаниям разработать динамичные процессы и системы, которые быстро, эффективно и надёжно реагируют на меняющиеся проблемы логистики и транспортировки [10].

Эти прогнозы – только начало. Они проливают свет на то, что может случиться когда-то и где-то, но главная цель – наличие в доступе правильных механизмов для должного реагирования на эти прогнозы, прежде чем они негативно повлияют на бизнес. Чтобы иметь план действий в любых обстоятельствах (известных, прогнозируемых или неизвестных), транспортные компании должны постоянно проводить переоценку своих рисков. Это тоже не разовые процедуры. Риски «путешествуют» с каждым подвижным составом через тысячи километров дорог и через границы. Они колеблются и могут меняться на каждом километре пути [11].

Компании должны иметь доступ к точной, надёжной и всеобъемлющей информации, которая даёт чёткое представление об уязвимостях цепочки поставок и транспортных сетей. Прогнозируя перебои, компании могут активно минимизировать их влияние. Они могут создавать резервные планы или полностью изменять планы, чтобы уменьшить удар.

По сути, они могут быть более устойчивыми к изменениям и угрозам [12].

Важным аспектом этого является развитие соответствующих компетенций руководящего персонала, направленных на управление рисками, создание диверсифицированных по критериям и способам поощрения систем мотивации [13], одним из оцениваемых и поощряемых показателей которой будет разработка или реализация систем управления рисками применительно к данной компании. В целом, управление рисками должно быть включено в системы корпоративных систем обучения, концепций и стратегий повышения эффективности деятельности, развития лидерства как на уровне центрального аппарата компаний, так и на уровне менеджмента дивизионов и линейных предприятий. Вопросу выстраивания таких систем, в том числе и в отношении управления рисками, посвящено большое количество работ (например, [14–16]), однако в случае каждой отдельной транспортной компании необходимо особенно тщательно адаптировать систему присущих ей показателей как в отношении существующих рисков, так и эффективного воздействия на них в рамках процессов управления. Это обусловлено тем, что для транспортных компаний особенно велика (в отличие, например, от банковского сектора) специфика деятельности, обусловленная целой совокупностью факторов, включающих характеристики подвижного состава, специфику перевозимых грузов, особенности клиентской базы (крупные грузоотправители, сборные грузы и т.д.), наличие логистических мощностей, географию деятельности и иные факторы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, риск есть влияние неопределённости на цели. В самом широком смысле риск – это всё, что может стать препятствием на пути к достижению целей и решению задач. Управление рисками – это процесс аналитической и управленческой деятельности, направленный на выявление неопределённостей, присущих управлению сложной организацией и её активами, и реагирование на них.

Практика управления рисками в серьёзных компаниях показывает следующее:

- управление рисками поддерживает стратегическое организационное согласование;
- у зрелых организаций есть чёткая структура управления рисками;





- в успешных организациях есть культура управления рисками;
- используется широкий спектр инструментов управления рисками;
- инструменты управления рисками являются ключевыми для принятия программных инвестиционных решений;
- доступны различные методы управления рисками;
- стратегии активного информирования о рисках улучшают процесс принятия решений;
- управление рисками улучшает управление знаниями и развитие персонала.

Сделанные выводы являются обобщающими и представляют основу для разработки систем управления рисками в отдельно взятых транспортных компаниях.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бирюкова О. Ю. Логистические технологии синхронизации взаимодействия смежных видов транспорта в национальной экономике России // Инновационная экономика: материалы IV Междунар. науч. конф. (г. Казань, октябрь 2017 г.). – Казань: Бук, 2017. – С. 91–93. [Электронный ресурс]: <https://moluch.ru/conf/econ/archive/262/13032/>. Доступ 26.12.2020.
2. Власов В. М., Великанов А. Ю., Филиппова Н. А., Литвиненко Р. В. Совершенствование эксплуатационных требований, предъявляемых к автомобилю и процессу организации перемещения скоропортящихся грузов специальным автомобильным транспортом // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2020. – № 3 (62). – С. 30–35.
3. Некрасов А. Г., Беляев В. М., Миротин Л. Б., Волков В. Д., Спирин И. В. Логистический инжиниринг на автомобильном транспорте // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2017. – № 1 (48). – С. 3–12.
4. Лебедев Е. А., Миротин Л. Б., Науменко М. А. Цифровая трансформация транспорта // Логистика: Современные тенденции развития. Материалы XVII Международной научно-практ. конференции. – СПб.: ГУМРФ им. С.О. Макарова, 2018. – С. 279–283.
5. Зеленова Е. С., Быкова Ю. А. Страхование как метод минимизации рисков при транспортировке // Экономика, управление, финансы: материалы VI Междунар. науч. конф. (г. Краснодар, февраль 2016 г.). – Краснодар: Новация, 2016. – С. 116–118. [Электронный ресурс]: <https://moluch.ru/conf/econ/archive/172/9591/>. Доступ 26.12.2020.

6. Миротин Л. Б., Багинова В. В., Федоров Л. С., Морозов В. Н., Апатцев В. И. Методы логистики как фактор эффективности управления // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. – 2017. – № 2–3 (31). – С. 91–98.

7. Филиппова Н. А., Богумил В. Н. Практическая апробация метода прогнозирования начала и окончания навигации для снижения риска недопоставки грузов северного завоза // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2019. – № 3 (58). – С. 88–93.

8. Покровский А. К., Миротин Л. Б., Башмаков И. А. Новые подходы к управлению на транспорте в условиях глобализации экономики: Монография. – М.: Техполиграфцентр, 2019. – 288 с.

9. Покровский А. К., Миротин Л. Б. Логистический менеджмент – ключ к взаимопониманию в цепи поставок // Логистика: современные тенденции развития. Материалы XIX Международной научно-практ. конференции. – СПб.: ФГБОУ ВО ГУ Морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова, 2020. – С. 38–43. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43773913>. Доступ 26.12.2020.

10. Филиппова Н. А., Каримова П. А. Организация работы взаимодействующих видов транспорта по единым технологическим процессам // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2019. – № 2. – С. 42–45. DOI: 10.31044/1684-2561-2019-0-2-42-45.

11. Loza-Hernandez, L., Gendreau, M. A framework for assessing hazmat risk at nodes of transport networks. International journal of disaster risk reduction, 2020, Vol. 50, pp. 101854. DOI: 10.1016/j.ijdrr.2020.101854.

12. Guo, Jingni; Xu, Junxiang; He, Zhenggang; Liao, Wei. Research on risk propagation method of multimodal transport network under uncertainty. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, Vol. 563. DOI: 10.1016/j.physa.2020.125494.

13. Lovett, S., Rasheed, A. A., Wanrong, Hou. Stock options, restricted stock, salary, or bonus? Managing CEO compensation to maximize organizational performance. Business Horizons, 2021. DOI: 10.1016/j.bushor.2021.02.041.

14. Almeida, J., Daniel, A., Figueiredo, C. The future of management education: The role of entrepreneurship education and junior enterprises. The International Journal of Management Education, 2019, p. 100318. DOI: 10.1016/j.ijme.2019.100318.

15. Afshari, L., Hadian, Nasab Ali. Enhancing organizational learning capability through managing talent: mediation effect of intellectual capital. Human Resource Development International, 2020, Vol. 24, pp. 1–17. DOI: 10.1080/13678868.2020.1727239.

16. Hamlin, R. G., Patel, T. Toward an emergent Asian behavioural model of perceived managerial and leadership effectiveness: a cross-nation comparative analysis of effective and ineffective managerial behaviour of private sector managers in India and South Korea. Human Resource Development International, Vol. 31, pp. 259–282, DOI: 10.1080/13678868.2019.1700076. ●

### Информация об авторах:

**Филиппова Надежда Анатольевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных перевозок Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва, Россия, [madizp@mail.ru](mailto:madizp@mail.ru)

**Башмаков Игорь Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры менеджмента Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва, Россия, [bashmakov-igor@rambler.ru](mailto:bashmakov-igor@rambler.ru)

**Кочегура Денис Юрьевич** – аспирант Кубанского государственного технологического университета (КубГТУ), Краснодар, Россия, [d.kochegura@mail.ru](mailto:d.kochegura@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 02.08.2020, одобрена после рецензирования 21.04.2021, принята к публикации 23.04.2021.



# Модель трогания тяжёлого состава



*Игорь Павлович Попов*

*Курганский государственный университет, Курган, Россия.*

✉ [ip.porow@yandex.ru](mailto:ip.porow@yandex.ru)

Игорь ПОПОВ

## АННОТАЦИЯ

Режим трогания с места для наземного транспортного средства является наиболее тяжёлым. Это обусловлено тем, что сила трения покоя значительно превосходит силу трения движения. Для поездов этот режим представляет настолько серьёзную проблему, что иногда приходится принимать специальные меры, такие как использование песка в зоне контакта бандажа колеса с рельсом или вспомогательного локомотива. Эффективным способом трогания поезда с места является выбор зазоров в сцепках. При этом вагоны приводятся в движение последовательно, и инертная масса, а также сила трения покоя непосредственно в момент трогания минимальны.

Этот способ, однако, имеет два существенных недостатка – малую фиксированную величину зазоров в сцепках, что ограничивает эффективность способа, и ударный характер передачи импульса, что отрицательно сказывается на состоянии конструктивных элементов поезда. Указанных недостатков можно избежать, если использовать упруго деформируемые сцепки.

Целью работы является показать преимущество трогания поезда с упругими сцепками по сравнению с традиционным путём его математического описания и анализа. Трогание состава с упругими сцепками значительно легче, чем недеформируемого. При этом чем больше число вагонов, тем больше преимущество первого перед вторым. Смягчение режима трогания состава с места, по существу, обуславливается заменой одновременно трогания секций на поочерёдное. Этот процесс актуален для инерционных сил. Применительно к силе трения покоя механизм будет подобным, то есть преодолевается не вся сила трения покоя одновременно, а поочерёдно преодолеваются её малые части. Для исключения продольных колебаний состава после достижения максимального растяжения сцепки следует механически блокировать возможность её гармонического сжатия с последующей выборкой упругой деформации, например, с использованием демпфирующих устройств.

В качестве дополнительного положительного эффекта от использования упругих сцепок можно рассматривать исключение передачи ударных нагрузок на двигатели локомотива.

Ключевые слова: транспорт, железная дорога, поезд, трогание, сцепки, трение, перемещение, скорость.

*Для цитирования:* Попов И. П. Модель трогания тяжёлого состава // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 2 (93). С. 19–24. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-3>.

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



## ВВЕДЕНИЕ

Сила трения покоя значительно превосходит силу трения движения. Это приводит к тому, что режим трогания для наземного транспортного средства является наиболее тяжёлым [1–4]. Для поездов этот режим представляет настолько серьёзную проблему, что иногда приходится принимать специальные меры, такие как использование песка в зоне контакта бандажа колеса с рельсом или вспомогательного локомотива [5–7]. Эта проблема усугубляется в связи с устойчивой тенденцией повышения массы и длины поездов.

Эффективным способом трогания поезда является выбор зазоров в сцепках. При этом вагоны приводятся в движение поочерёдно, и инертная масса, а также сила трения покоя непосредственно в момент трогания минимальны [8; 9].

Этот способ, однако, имеет два существенных недостатка – малую фиксированную величину зазоров в сцепках, что ограничивает эффективность способа и ударный характер передачи импульса, что отрицательно сказывается на состоянии конструктивных элементов поезда.

Указанных недостатков можно избежать, если использовать упруго деформируемые сцепки [10].

В литературе представлены результаты теоретических исследований элементов конструкций, использующих гибкие и упругие компоненты [11–13].

В связи с этим представляет интерес динамика всего поезда в режиме трогания с места.

Целью работы является математическое описание «лёгкого» трогания поезда с упругими сцепками.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Расчёт механической системы в составе массивных локомотивов, вагонов и упругих сцепок является достаточно громоздким [14; 15]. Для его минимизации принимаются следующие допущения: сила  $F$ , развиваемая локомотивом, – величина постоянная; массы локомотива и вагонов равны между собой и составляют  $m$ .

### Локомотив и один вагон

Уравнение сил, приложенных к локомотиву, имеет вид:

$$F = m \frac{d^2 x_1}{dt^2} + k(x_1 - x_2), \quad (1)$$

где  $x_1, x_2$  – перемещение, соответственно, локомотива и вагона;

$k$  – коэффициент упругости сцепки [16].

Силы, приложенные к вагону, удовлетворяют уравнению:

$$0 = m \frac{d^2 x_2}{dt^2} - k(x_1 - x_2).$$

Из последнего уравнения следует:

$$x_1 = \frac{m}{k} \frac{d^2 x_2}{dt^2} + x_2. \quad (2)$$

Подстановка этого выражения в (1) даёт:

$$\begin{aligned} F &= \frac{m^2}{k} \frac{d^4 x_2}{dt^4} + m \frac{d^2 x_2}{dt^2} + m \frac{d^2 x_2}{dt^2} + kx_2 - kx_2 = \\ &= \frac{m^2}{k} \frac{d^4 x_2}{dt^4} + 2m \frac{d^2 x_2}{dt^2}. \end{aligned} \quad (3)$$

Тогда пусть:

$$\frac{d^2 x_2}{dt^2} = z. \quad (4)$$

И тогда (3) запишется в виде:

$$z'' + 2 \frac{k}{m} z = \frac{kF}{m^2}. \quad (5)$$

Характеристическое уравнение:

$$r^2 + 2 \frac{k}{m} = 0.$$

Его корни равны:

$$r_{1,2} = \pm i \sqrt{2 \frac{k}{m}}.$$

Общее решение соответствующего однородного уравнения:

$$z_1 = C_1 \cos \sqrt{2 \frac{k}{m}} t + C_2 \sin \sqrt{2 \frac{k}{m}} t.$$

Частное решение в соответствии с (5) имеет вид:

$$z_2 = A.$$

Подстановка его в (5) даёт:

$$2 \frac{k}{m} A = \frac{kF}{m^2}, \quad A = \frac{F}{2m}.$$

Общее решение уравнения (5) находится как:

$$z = z_1 + z_2 = C_1 \cos \sqrt{2 \frac{k}{m}} t + C_2 \sin \sqrt{2 \frac{k}{m}} t + \frac{F}{2m}.$$

В момент времени  $t = 0$  сцепка не деформирована, следовательно, на вагон сила не действует и величина (4) равна нулю. Поэтому для  $t = 0$  последнее выражение примет вид:

$$z(0) = 0 = C_1 \cos \sqrt{2 \frac{k}{m}} 0 + C_2 \sin \sqrt{2 \frac{k}{m}} 0 + \frac{F}{2m}, \quad C_1 = -\frac{F}{2m}.$$

С учётом этого:

$$z = -\frac{F}{2m} \cos \sqrt{2 \frac{k}{m}} t + C_2 \sin \sqrt{2 \frac{k}{m}} t + \frac{F}{2m}. \quad (6)$$

В соответствии с (4):

$$\begin{aligned} v_2 &= \int z dt = -\frac{F}{2m} \sqrt{\frac{m}{2k}} \sin \sqrt{2\frac{k}{m}} t - \\ &- C_2 \sqrt{\frac{m}{2k}} \cos \sqrt{2\frac{k}{m}} t + \frac{F}{2m} t + C_3, \\ x_2 &= \int v_2 dt = \frac{F}{4k} \cos \sqrt{2\frac{k}{m}} t - \\ &- C_2 \frac{m}{2k} \sin \sqrt{2\frac{k}{m}} t + \frac{F}{4m} t^2 + C_3 t + C_4. \end{aligned} \quad (7)$$

С учётом (2), (4), (6) и (7):

$$\begin{aligned} x_1 &= -\frac{F}{2k} \cos \sqrt{2\frac{k}{m}} t + \\ &+ C_2 \frac{m}{k} \sin \sqrt{2\frac{k}{m}} t + \frac{F}{2k} + \frac{F}{4k} \cos \sqrt{2\frac{k}{m}} t - \\ &- C_2 \frac{m}{2k} \sin \sqrt{2\frac{k}{m}} t + \frac{F}{4m} t^2 + C_3 t + C_4, \\ v_1 &= \frac{dx_1}{dt} = \frac{F}{2k} \sqrt{2\frac{k}{m}} \sin \sqrt{2\frac{k}{m}} t + C_2 \sqrt{2\frac{k}{m}} \frac{m}{k} \cos \sqrt{2\frac{k}{m}} t - \\ &- \frac{F}{4k} \sqrt{2\frac{k}{m}} \sin \sqrt{2\frac{k}{m}} t - C_2 \sqrt{2\frac{k}{m}} \frac{m}{2k} \cos \sqrt{2\frac{k}{m}} t + \frac{F}{2m} t + C_3, \\ a_1 &= \frac{dv_1}{dt} = \frac{F}{2k} 2\frac{k}{m} \cos \sqrt{2\frac{k}{m}} t - \\ &- C_2 2\frac{k}{m} \frac{m}{k} \sin \sqrt{2\frac{k}{m}} t - \frac{F}{4k} 2\frac{k}{m} \cos \sqrt{2\frac{k}{m}} t + \\ &+ C_2 2\frac{k}{m} \frac{m}{2k} \sin \sqrt{2\frac{k}{m}} t + \frac{F}{2m}, \\ x_2(0) &= 0 = \frac{F}{4k} \cos \sqrt{2\frac{k}{m}} 0 - \\ &- C_2 \frac{m}{2k} \sin \sqrt{2\frac{k}{m}} 0 + \frac{F}{4m} 0^2 + C_3 0 + C_4, \\ \frac{F}{4k} + C_4 &= 0, \quad C_4 = -\frac{F}{4k}, \\ v_2(0) &= 0 = -C_2 \sqrt{\frac{m}{2k}} + C_3, \\ v_1(0) &= 0 = C_2 \sqrt{2\frac{k}{m}} \frac{m}{k} - C_2 \sqrt{2\frac{k}{m}} \frac{m}{2k} + C_3 = \\ &= C_2 \sqrt{2\frac{k}{m}} \frac{m}{2k} + C_3, \\ \begin{cases} -C_2 \sqrt{\frac{m}{2k}} + C_3 = 0 \\ C_2 \sqrt{\frac{m}{2k}} + C_3 = 0 \end{cases}, \quad C_2 = 0, \quad C_3 = 0. \end{aligned}$$

Окончательное решение:

$$\begin{aligned} x_1 &= -\frac{F}{4k} \cos \sqrt{2\frac{k}{m}} t + \frac{F}{4m} t^2 + \frac{F}{4k}, \\ x_2 &= \frac{F}{4k} \cos \sqrt{2\frac{k}{m}} t + \frac{F}{4m} t^2 - \frac{F}{4k}, \\ v_1 &= \frac{F}{2\sqrt{2km}} \sin \sqrt{2\frac{k}{m}} t + \frac{F}{2m} t, \\ v_2 &= -\frac{F}{2\sqrt{2km}} \sin \sqrt{2\frac{k}{m}} t + \frac{F}{2m} t, \\ a_1 &= \frac{F}{2m} \cos \sqrt{2\frac{k}{m}} t + \frac{F}{2m}, \quad a_2 = -\frac{F}{2m} \cos \sqrt{2\frac{k}{m}} t + \frac{F}{2m}. \end{aligned}$$

Характерный отрезок времени  $\tau_2$  (индекс «2» означает количество составных частей поезда) для рассматриваемого случая определяется из условия максимального растяжения упругой сцепки. При этом:

$$a_1(\tau_2) - \frac{F}{2m} = 0 \quad \text{или} \quad \frac{F}{2m} \cos \sqrt{2\frac{k}{m}} \tau_2 = 0,$$

$$\sqrt{2\frac{k}{m}} \tau_2 = \frac{\pi}{2}, \quad \tau_2 = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{m}{2k}}.$$

За время  $\tau_2$  локомотив пройдёт расстояние

$$x_1(\tau_2) = -\frac{F}{4k} \cos \sqrt{2\frac{k}{m}} \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{m}{2k}} + \frac{F}{4m} \frac{\pi^2 m}{4 \cdot 2k} + \frac{F}{4k} = \frac{F\pi^2}{32k} + \frac{F}{4k}$$

и разовьёт скорость

$$\begin{aligned} v_1(\tau_2) &= \frac{F}{2\sqrt{2km}} \sin \sqrt{2\frac{k}{m}} \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{m}{2k}} + \frac{F}{2m} \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{m}{2k}} = \\ &= \frac{F}{2\sqrt{2km}} + \frac{F\pi}{4\sqrt{2km}}. \end{aligned}$$

Уместно сравнить эти показатели с соответствующими величинами для недеформируемого состава:

$$a = \frac{F}{2m}, \quad v = \frac{F}{2m} t, \quad x = \frac{F}{4m} t^2;$$

$$x(\tau_2) = \frac{F}{4m} \frac{\pi^2 m}{4 \cdot 2k} = \frac{F\pi^2}{32k}, \quad v(\tau_2) = \frac{F}{2m} \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{m}{2k}} = \frac{F\pi}{4\sqrt{2km}};$$

$$\frac{x_1(\tau_2)}{x(\tau_2)} = \frac{F\pi^2/(32k) + F/(4k)}{F\pi^2/(32k)} = 1 + \frac{32}{4\pi^2} \approx 1,81;$$

$$\frac{v_1(\tau_2)}{v(\tau_2)} = \frac{F/(2\sqrt{2km}) + F\pi/(4\sqrt{2km})}{F\pi/(4\sqrt{2km})} = 1 + \frac{2}{\pi} \approx 1,64.$$

Отношение для кинетических энергий локомотива [17] составляет:

$$\frac{E_1(\tau_2)}{E(\tau_2)} = 2,69.$$

Полученные соотношения наглядно демонстрируют, что трогание состава с упругими сцепками значительно легче, чем недеформируемого.

### Локомотив и два вагона

Уравнения сил, приложенных, соответственно, к локомотиву и вагонам, имеют вид:

$$F = m \frac{d^2 x_1}{dt^2} + k(x_1 - x_2); \quad (8)$$

$$k(x_1 - x_2) = m \frac{d^2 x_2}{dt^2} + k(x_2 - x_3); \quad (9)$$

$$k(x_2 - x_3) = m \frac{d^2 x_3}{dt^2}.$$

Из последнего уравнения следует:

$$x_2 = \frac{m}{k} \frac{d^2 x_3}{dt^2} + x_3. \quad (10)$$

Производная этого выражения равна:



$$\frac{d^2x_2}{dt^2} = \frac{m}{k} \frac{d^4x_3}{dt^4} + \frac{d^2x_3}{dt^2}.$$

Подстановка последних двух выражений в (9) даёт:

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{m}{k} \frac{d^2x_2}{dt^2} + 2x_2 - x_3 = \\ &= \frac{m^2 d^4x_3}{k^2 dt^4} + \frac{m d^2x_3}{k dt^2} + 2 \frac{m d^2x_3}{k dt^2} + 2x_2 - x_3 = \\ &= \frac{m^2 d^4x_3}{k^2 dt^4} + 3 \frac{m d^2x_3}{k dt^2} + x_3. \end{aligned} \quad (11)$$

Производная этого выражения равна:

$$\frac{d^2x_1}{dt^2} = \frac{m^2 d^6x_3}{k^2 dt^6} + 3 \frac{m d^4x_3}{k dt^4} + \frac{d^2x_3}{dt^2}.$$

Подстановка полученных выражений в (8) даёт:

$$\begin{aligned} \frac{F}{k} &= \frac{m^3 d^6x_3}{k^3 dt^6} + 3 \frac{m^2 d^4x_3}{k^2 dt^4} + \frac{m d^2x_3}{k dt^2} + \\ &+ \frac{m^2 d^4x_3}{k^2 dt^4} + 3 \frac{m d^2x_3}{k dt^2} + x_3 - \frac{m d^2x_3}{k dt^2} - x_3 = \\ &= \frac{m^3 d^6x_3}{k^3 dt^6} + 4 \frac{m^2 d^4x_3}{k^2 dt^4} + 3 \frac{m d^2x_3}{k dt^2}, \\ \frac{d^6x_3}{dt^6} + 4 \frac{k}{m} \frac{d^4x_3}{dt^4} + 3 \frac{k^2}{m^2} \frac{d^2x_3}{dt^2} &= \frac{k^2 F}{m^3}. \end{aligned} \quad (12)$$

Пусть:

$$\frac{d^2x_3}{dt^2} = z. \quad (13)$$

Тогда (12) запишется в виде:

$$z''' + 4 \frac{k}{m} z'' + 3 \frac{k^2}{m^2} z = \frac{k^2 F}{m^3}. \quad (14)$$

Характеристическое уравнение:

$$\begin{aligned} r^4 + 4 \frac{k}{m} r^2 + 3 \frac{k^2}{m^2} &= 0, \\ r_{1,2}^2 = -2 \frac{k}{m} \pm \frac{k}{m} =, \quad r_1^2 = -3 \frac{k}{m}, \quad r_2^2 = -\frac{k}{m}, \quad r_{1,2} &= \pm i \sqrt{3 \frac{k}{m}}, \\ r_{3,4} &= \pm i \sqrt{\frac{k}{m}}. \end{aligned}$$

Общее решение соответствующего однородного уравнения:

$$\begin{aligned} z_1 &= C_1 \cos \sqrt{3 \frac{k}{m}} t + C_2 \sin \sqrt{3 \frac{k}{m}} t + \\ &+ C_3 \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t + C_4 \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t. \end{aligned}$$

Частное решение имеет вид:

$$z_2 = A.$$

Подстановка его в (14) даёт:

$$3 \frac{k^2}{m^2} A = \frac{k^2 F}{m^3}, \quad A = \frac{F}{3m}.$$

Общее решение находится, как:

$$\begin{aligned} z &= z_1 + z_2 = C_1 \cos \sqrt{3 \frac{k}{m}} t + C_2 \sin \sqrt{3 \frac{k}{m}} t + \\ &+ C_3 \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t + C_4 \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t + \frac{F}{3m}. \end{aligned} \quad (15)$$

В соответствии с (13):

$$\begin{aligned} v_3 &= \int z dt = C_1 \sqrt{\frac{m}{3k}} \sin \sqrt{\frac{3k}{m}} t - C_2 \sqrt{\frac{m}{3k}} \cos \sqrt{\frac{3k}{m}} t + \\ &+ C_3 \sqrt{\frac{m}{k}} \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t - C_4 \sqrt{\frac{m}{k}} \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t + \frac{F}{3m} t + C_5; \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} x_3 &= \int v_3 dt = -C_1 \frac{m}{3k} \cos \sqrt{\frac{3k}{m}} t - C_2 \frac{m}{3k} \sin \sqrt{\frac{3k}{m}} t - \\ &- C_3 \frac{m}{k} \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t - C_4 \frac{m}{k} \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t + \frac{F}{6m} t^2 + C_5 t + C_6. \end{aligned} \quad (17)$$

С учётом (10), (13), (15) и (17):

$$\begin{aligned} x_2 &= \frac{m}{k} C_1 \cos \sqrt{\frac{3k}{m}} t + \frac{m}{k} C_2 \sin \sqrt{\frac{3k}{m}} t + \\ &+ \frac{m}{k} C_3 \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t + \frac{m}{k} C_4 \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t + \frac{m}{k} \frac{F}{3m} t - \\ &- C_1 \frac{m}{3k} \cos \sqrt{\frac{3k}{m}} t - C_2 \frac{m}{3k} \sin \sqrt{\frac{3k}{m}} t - C_3 \frac{m}{k} \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t - \\ &- C_4 \frac{m}{k} \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t + \frac{F}{6m} t^2 + C_5 t + C_6 = \\ &= \frac{2m}{3k} C_1 \cos \sqrt{\frac{3k}{m}} t + \frac{2m}{3k} C_2 \sin \sqrt{\frac{3k}{m}} t + \\ &+ \frac{F}{3k} + \frac{F}{6m} t^2 + C_5 t + C_6; \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} v_2 &= \frac{dx_2}{dt} = -\frac{2m}{3k} \sqrt{\frac{3k}{m}} C_1 \sin \sqrt{\frac{3k}{m}} t + \\ &+ \frac{2m}{3k} \sqrt{\frac{3k}{m}} C_2 \cos \sqrt{\frac{3k}{m}} t + \frac{F}{3m} t + C_5 = \end{aligned} \quad (19)$$

$$= -\frac{2}{3} \sqrt{\frac{3m}{k}} C_1 \sin \sqrt{\frac{3k}{m}} t + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{3m}{k}} C_2 \cos \sqrt{\frac{3k}{m}} t + \frac{F}{3m} t + C_5;$$

$$a_2 = \frac{dv_2}{dt} = -2C_1 \cos \sqrt{\frac{3k}{m}} t - 2C_2 \sin \sqrt{\frac{3k}{m}} t + \frac{F}{3m}. \quad (20)$$

С учётом (11), (17), (18) и (20):

$$\begin{aligned} x_1 &= -2C_1 \frac{m}{k} \cos \sqrt{\frac{3k}{m}} t - 2C_2 \frac{m}{k} \sin \sqrt{\frac{3k}{m}} t + \frac{F}{3m} \frac{m}{k} t + \\ &+ 2 \frac{2m}{3k} C_1 \cos \sqrt{\frac{3k}{m}} t + 2 \frac{2m}{3k} C_2 \sin \sqrt{\frac{3k}{m}} t + \\ &+ \frac{2F}{3k} + \frac{2F}{6m} t^2 + 2C_5 t + 2C_6 + \\ &+ C_1 \frac{m}{3k} \cos \sqrt{\frac{3k}{m}} t + C_2 \frac{m}{3k} \sin \sqrt{\frac{3k}{m}} t + C_3 \frac{m}{k} \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t + \\ &+ C_4 \frac{m}{k} \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t - \frac{F}{6m} t^2 - C_5 t - C_6 = \\ &= -C_1 \frac{m}{3k} \cos \sqrt{\frac{3k}{m}} t - C_2 \frac{m}{3k} \sin \sqrt{\frac{3k}{m}} t + C_3 \frac{m}{k} \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t + \\ &+ C_4 \frac{m}{k} \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t + \frac{F}{k} + \frac{F}{6m} t^2 + C_5 t + C_6; \\ v_1 &= \frac{dx_1}{dt} = C_1 \sqrt{\frac{m}{3k}} \sin \sqrt{\frac{3k}{m}} t - \\ &- C_2 \sqrt{\frac{m}{3k}} \cos \sqrt{\frac{3k}{m}} t - C_3 \sqrt{\frac{m}{k}} \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t + \\ &+ C_4 \sqrt{\frac{m}{k}} \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t + \frac{F}{3m} t + C_5; \end{aligned} \quad (21)$$

Таблица 1

Количество секций поезда	$\frac{x_1(\tau)}{x(\tau)}$	$\frac{v_1(\tau)}{v(\tau)}$	$\frac{E_1(\tau)}{E(\tau)}$
2	1,81	1,64	2,69
3	2,6	2,22	4,93

$$a_1 = C_1 \cos \sqrt{\frac{3k}{m}} t - C_3 \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t + \frac{F}{3m}.$$

В соответствии с (20):

$$a_2(0) = -2C_1 + \frac{F}{3m} = 0, \quad C_1 = \frac{F}{6m}.$$

В соответствии с (15):

$$z(0) = 0 = \frac{F}{6m} + C_3 + \frac{F}{3m}, \quad C_3 = -\frac{F}{2m}.$$

В соответствии с (18):

$$x_2(0) = \frac{2m}{3k} C_1 + \frac{F}{3k} + C_6 = 0,$$

$$\frac{F}{9k} + \frac{F}{3k} + C_6 = 0, \quad C_6 = -\frac{4F}{9k}.$$

В соответствии с (16), (19), (21):

$$v_1(0) = -C_2 \sqrt{\frac{m}{3k}} + C_4 \sqrt{\frac{m}{k}} + C_5 = 0;$$

$$v_3(0) = -C_2 \sqrt{\frac{m}{3k}} - C_4 \sqrt{\frac{m}{k}} + C_5 = 0, \quad C_4 = 0;$$

$$v_2(0) = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{3m}{k}} C_2 + C_5 = 0, \quad C_2 = 0, \quad C_5 = 0.$$

Окончательное решение:

$$x_1 = -\frac{F}{18k} \cos \sqrt{\frac{3k}{m}} t - \frac{F}{2k} \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t + \frac{F}{6m} t^2 + \frac{5F}{9k};$$

$$x_2 = \frac{F}{9k} \cos \sqrt{\frac{3k}{m}} t + \frac{F}{6m} t^2 - \frac{F}{9k};$$

$$x_3 = -\frac{F}{18k} \cos \sqrt{\frac{3k}{m}} t + \frac{F}{2k} \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t + \frac{F}{6m} t^2 - \frac{4F}{9k};$$

$$v_1 = \frac{F}{6\sqrt{3km}} \sin \sqrt{\frac{3k}{m}} t + \frac{F}{2\sqrt{km}} \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t + \frac{F}{3m} t;$$

$$v_2 = -\frac{F}{3\sqrt{3km}} \sin \sqrt{\frac{3k}{m}} t + \frac{F}{3m} t;$$

$$v_3 = \frac{F}{6\sqrt{3km}} \sin \sqrt{\frac{3k}{m}} t - \frac{F}{2\sqrt{km}} \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t + \frac{F}{3m} t;$$

$$a_1 = \frac{F}{6m} \cos \sqrt{\frac{3k}{m}} t + \frac{F}{2m} \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t + \frac{F}{3m};$$

$$a_2 = -\frac{F}{3m} \cos \sqrt{\frac{3k}{m}} t + \frac{F}{3m};$$

$$a_3 = \frac{F}{6m} \cos \sqrt{\frac{3k}{m}} t - \frac{F}{2m} \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t + \frac{F}{3m}.$$

Характерный отрезок времени  $\tau_3$  для рассматриваемого случая определяется из условия максимального растяжения упругой сцепки.

При этом:

$$a_1(\tau_3) - \frac{F}{3m} = 0 \quad \text{или} \quad \frac{F}{6m} \cos \sqrt{\frac{3k}{m}} \tau_3 + \frac{F}{2m} \cos \sqrt{\frac{k}{m}} \tau_3 = 0;$$

$$\frac{1}{3} \cos \sqrt{3} \sqrt{\frac{k}{m}} \tau_3 + \cos \sqrt{\frac{k}{m}} \tau_3 = 0.$$

Решение последнего уравнения имеет вид:

$$\sqrt{\frac{k}{m}} \tau_3 = 0,427\pi, \quad \tau_3 = 0,427\pi \sqrt{\frac{m}{k}}.$$

За время  $\tau_3$  локомотив пройдёт расстояние:

$$x_1(\tau_3) = -\frac{F}{18k} \cos \sqrt{\frac{3k}{m}} \cdot 0,427\pi \sqrt{\frac{m}{k}} -$$

$$-\frac{F}{2k} \cos \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot 0,427\pi \sqrt{\frac{m}{k}} +$$

$$+\frac{F}{6m} \left( 0,427\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \right)^2 + \frac{5F}{9k} =$$

$$= \frac{F}{k} \left[ -\frac{1}{18} \cos \sqrt{3} \cdot 0,427\pi - \right. \\ \left. -\frac{1}{2} \cos 0,427\pi + \frac{1}{6} (0,427\pi)^2 + \frac{5}{9} \right] =$$

$$= \frac{F}{k} \left[ -\frac{1}{18} \cos \sqrt{3} \cdot 0,427\pi - \frac{1}{2} \cos 0,427\pi + \right. \\ \left. + \frac{1}{6} (0,427\pi)^2 + \frac{5}{9} \right] = 0,78 \frac{F}{k}$$

и разовьёт скорость:

$$v_1(\tau_3) = \frac{F}{6\sqrt{3km}} \sin \sqrt{\frac{3k}{m}} \cdot 0,427\pi \sqrt{\frac{m}{k}} +$$

$$+\frac{F}{2\sqrt{km}} \sin \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot 0,427\pi \sqrt{\frac{m}{k}} + \frac{F}{3m} \cdot 0,427\pi \sqrt{\frac{m}{k}} =$$

$$= \frac{F}{\sqrt{km}} \left( \frac{1}{6\sqrt{3}} \sin \sqrt{3} \cdot 0,427\pi + \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \sin 0,427\pi + \frac{1}{3} 0,427\pi \right) = \frac{F}{\sqrt{km}}.$$

Уместно сравнить эти показатели с соответствующими величинами для недеформируемого состава:

$$a = \frac{F}{3m}; \quad v = \frac{F}{3m} t; \quad x = \frac{F}{6m} t^2;$$

$$x(\tau_3) = \frac{F}{6m} \left( 0,427\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \right)^2 = 0,3 \frac{F}{k};$$

$$v(\tau_3) = \frac{F}{3m} \cdot 0,427\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = 0,45 \frac{F}{\sqrt{mk}};$$

$$\frac{x_1(\tau_3)}{x(\tau_3)} = 2,6;$$

$$\frac{v_1(\tau_3)}{v(\tau_3)} = 2,22.$$

Отношение для кинетических энергий локомотива составляет:

$$\frac{E_1(\tau_3)}{E(\tau_3)} = 4,93.$$





## Выводы

Применение упруго деформируемых сцепок решает проблему трогания тяжёлого поезда.

В табл. 1 сведены перемещения, скорости и кинетические энергии локомотива для моментов максимального растяжения упругой сцепки, отнесённые к соответствующим параметрам недеформируемого состава.

Полученные соотношения наглядно демонстрируют, что трогание состава с упругими сцепками значительно легче, чем недеформируемого. При этом чем больше число вагонов, тем больше преимущество первого перед вторым.

Смягчение режима трогания состава, по существу, обуславливается заменой одновременного трогания секций на поочерёдное. Выше этот процесс описан для инерционных сил. Применительно к силе трения покоя механизм будет подобным, то есть преодолевается не вся сила трения покоя одновременно, а поочерёдно преодолеваются её малые части.

Полученные выражения для перемещений, скоростей и ускорений локомотива и вагонов имеют гармонические составляющие. Для исключения продольных колебаний состава после достижения максимального растяжения сцепки следует механически блокировать возможность её гармонического сжатия с последующей выборкой упругой деформации, например, с использованием демпфирующих устройств.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Попов И. П. Инертно-ёмкостной накопитель энергии для маневрового тепловоза // Мир транспорта. – 2019. – Т. 17. – № 3. – С. 82–87. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-3-82-87>.
2. Митин Э. В., Сульдин С. П., Калякулин С. Ю. Расчёт на прочность легкового прицепа общего назначения в режимах трогания с места и поворота // Автомобильная промышленность. – 2019. – № 3. – С. 33–36.
3. Коблов Р. В., Егоров П. Е., Новачук Я. А. Новое прочтение механизма образования силы тяги локомотива // Мир транспорта. – 2016. – Т. 14. – № 5 (66). – С. 6–18. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1047/1323>. Доступ 25.12.2020.
4. Черепанов Л. А., Тарасов Д. А. Исследование работы сцепления при трогании автомобиля с места // Транспортные системы. – 2020. – № 2 (16). – С. 10–15. DOI: [10.46960/62045\\_2020\\_2\\_10](https://doi.org/10.46960/62045_2020_2_10).
5. Новосельцев П. В., Гордеева А. А., Купцов Ю. А. Эксперимент с проскальзыванием колёсных пар локомотива

// Мир транспорта. – 2017. – Т. 15. – № 3 (70). – С. 104–110. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/download/1218/1494>. Доступ 25.12.2020.

6. Коновалов П. Ю., Булавин Ю. П., Волков И. В. Улучшение противобуксовочных свойств транспортных машин на основе модернизации пневмопривода песочной системы // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 1 (81). – С. 8–19. DOI: [10.46973/0201-727X\\_2021\\_1\\_8](https://doi.org/10.46973/0201-727X_2021_1_8).

7. Демин В. А. Актуальные задачи развития транспортно-логистических систем // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16. – № 6 (79). – С. 14–19. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1543>. Доступ 25.12.2020.

8. Шимановский А. О., Сахаров П. А. Влияние зазоров в автосцепных устройствах на продольные силы в межвагонных соединениях однородного поезда // Механика машин, механизмов и материалов. – 2019. – № 2 (47). – С. 42–50.

9. Краснов О. Г. Методика определения интегрального распределения сил, действующих на путь // Мир транспорта. – 2019. – Т. 17. – № 4 (83). – С. 6–21. DOI: [10.30932/1992-3252-2019-17-4-6-21](https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-4-6-21).

10. Упырь Р. Ю., Давыдова Н. В., Хурэлбаатар Ц. Возникновение и оценка динамического взаимодействия груза и вагона // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2018. – № 1 (57). – С. 8–15. DOI: [10.26731/1813-9108.2018.1\(57\)8-15](https://doi.org/10.26731/1813-9108.2018.1(57)8-15).

11. Huo, Junzhou; Wu, Hanyang; Zhu, Dong; Sun, Wei; Wang, Liping; Dong, Jianghui. The rigid-flexible coupling dynamic model and response analysis of bearing-wheel-rail system under track irregularity. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 2018, Vol. 232, Iss. 21, pp. 3859–3880. DOI: [10.1177/0954406217745336](https://doi.org/10.1177/0954406217745336).

12. Lu, Yao-hui; Zeng, Jeng; Wu, Ping-bo; Guan, Qing-hua. Modeling of Rigid-Flexible Coupling System Dynamics for Railway Vehicles with Flexible Bogie Frame. Fourth International Conference on Innovative Computing, Information and Management (ICICIM), 2009, pp. 1355–1360. DOI: [10.1109/ICICIM.2009.265](https://doi.org/10.1109/ICICIM.2009.265).

13. Ling, Liang; Xiao, Xinbiao; Xiong, Jia-yang; Zhou, Li; Wen, Ze; Jin, Xue-song. A 3D Model for Coupling Dynamics Analysis of High-Speed Train/Track System. Journal of Zhejiang University SCIENCE A, 2014, Vol. 15, pp. 964–983. DOI: <https://doi.org/10.1631/jzus.A1400192>.

14. Пудовиков О. Е., Муров С. А. Моделирование режима регулировочного торможения длинносоставного поезда // Мир транспорта. – 2015. – Т. 13. – № 2 (57). – С. 28–33. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/262/473>.

15. Попов И. П. Применение символического (комплексного) метода для расчёта сложных механических систем при гармонических воздействиях // Прикладная физика и математика. – 2019. – № 4. – С. 14–24. DOI: [10.25791/pfim.04.2019.828](https://doi.org/10.25791/pfim.04.2019.828).

16. Попов И. П. Дифференциальные уравнения двух механических резонансов // Прикладная физика и математика. – 2019. – № 2. – С. 37–40. DOI: [10.25791/pfim.02.2019.599](https://doi.org/10.25791/pfim.02.2019.599).

17. Попов И. П. Условно-ортогональные механические мощности // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. – 2019. – № 4 (144). – С. 15–17. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41450991>. Доступ 25.12.2020. ●

### Информация об авторе:

**Попов Игорь Павлович** – старший преподаватель кафедры технологии машиностроения, металлорежущих станков и инструментов Курганского государственного университета, Курган, Россия, [ip.porow@yandex.ru](mailto:ip.porow@yandex.ru).

Статья поступила в редакцию 10.01.2021, одобрена после рецензирования 21.04.2021, принята к публикации 23.04.2021.



# Математическое моделирование колебаний вагонов-цистерн с учётом неполного заполнения ёмкости жидким грузом



Павел ГРИГОРЬЕВ



Сергей КОРЖИН



Шерзод ИБОДУЛЛОЕВ



Фу Тхуан ЧАН

*Павел Сергеевич Григорьев<sup>1</sup>, Сергей Николаевич Коржин<sup>2</sup>, Шерзод Рустамович Ибодуллоев<sup>3</sup>, Фу Тхуан Чан<sup>4</sup>*

<sup>1,2</sup> Российский университет транспорта, Москва, Россия.

<sup>3</sup> Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Ташкент, Узбекистан.

<sup>4</sup> Общество вьетнамских граждан в Российской Федерации, Хошимин, Вьетнам.

✉ <sup>1</sup> [grigorev.p@gmail.com](mailto:grigorev.p@gmail.com).

## АННОТАЦИЯ

Математическое моделирование процессов движения позволяет оценить динамические качества вагона на стадии его проектирования. Однако необходимо учитывать род перевозимого груза, движение которого оказывает влияние на показатели этих качеств.

В работе рассмотрена математическая модель восьмьюосной железнодорожной цистерны, разработанная с использованием уравнения Лагранжа второго рода. В рассматриваемой математической модели предложен подход, основанный на учёте влияния энергии жидкого груза при установившемся режиме движения. Учёт этого влияния осуществлялся за счёт оценки кинетической и потенциальной энергий колебаний перевозимого жидкого груза.

Для рассматриваемой модели составлены дифференциальные уравнения колебания, где жидкий груз представляется как твёрдое тело. Подход для учёта

влияния жидкого груза при колебаниях вагона-цистерны основан на предположении, что общий объём смещающейся жидкости примерно соответствует объёму слоя жидкости, определяемого смещением подпрыгивания, или, в случае галопирования, – при угловом смещении одного концевое сечения котла цистерны второе сечение поднимается на эту же величину, иными словами, работает система сообщающихся сосудов. На основе этих предположений получены энергетические добавки, которые учитывают перемещение жидкого груза при установившихся режимах движения.

По предложенному подходу были выполнены предварительные расчёты и дана оценка полученным результатам, которые показали удовлетворительную сходимость с вычислениями, выполнявшимися с применением других подходов к моделированию процессов движения железнодорожных вагонов-цистерн.

**Ключевые слова:** транспорт, вагон-цистерна, динамические качества, колебания жидкого груза, восьмиосная цистерна, нагруженность, котёл.

**Для цитирования:** Григорьев П. С., Коржин С. Н., Ибодуллоев Ш., Р., Чан Ф. Т. Математическое моделирование колебаний вагонов-цистерн с учётом неполного заполнения ёмкости жидким грузом // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 2 (93). С. 25–30. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-4>.

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

## ВВЕДЕНИЕ

При моделировании процессов движения подвижного состава по железнодорожному пути исследователей интересуют показатели динамических качеств (коэффициенты динамики, динамические силы различной направленности, ускорения, перемещения элементов конструкции) [1; 2], значения которых в конечном счёте определяются величинами кинетической и потенциальной энергий и величинами их соотношений в процессе работы системы.

Учитывая это обстоятельство, можно сказать, что если при изучении процессов движения вагона с жидким грузом в математической модели представится возможность сравнительно удачно отразить энергетические показатели движущихся масс жидкости, то в результате можно создать оптимизированную упрощённую модель, отражающую влияние жидкого груза на показатели плавности хода при установившемся режиме движения [3]. Решение этой задачи позволило бы получить оценку ходовых качеств и нагруженности грузовой ёмкости для любых транспортных единиц, связанных с перевозкой жидких грузов. Целью предлагаемой работы является решение этой задачи применительно к железнодорожным цистернам.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Стоит отметить, что, как правило, при разработке математических моделей колебаний вагонов-цистерн перевозимый груз рассматривают как твёрдое тело [4; 5]. Однако, как было отмечено выше, перевозимый груз оказывает влияние на показатели динамических качеств рассматриваемых моделей вагонов-цистерн. Таким образом, необходимо

использовать расчётные подходы, учитывающие энергетический вклад жидкого груза в общую систему.

Так в работах [6–9] оценивается влияние жидкого груза при переходных режимах работы, где описание движения жидкости осуществляется уравнениями механики сплошных сред. Учёт влияния жидкого груза в современных программных комплексах осуществляется с помощью решения задач гидродинамики [10; 11] или с использованием маятниковых аналогов [12–14].

В предлагаемой работе методика строится на предположении, что оболочка ёмкости абсолютно жёсткая, конструкция симметрична относительно продольной и поперечной плоскостей. Ёмкость имеет круговую цилиндрическую форму. Начало координат совпадает с центром среднего сечения. Продольная ось  $X$  направлена вдоль оси цилиндра, поперечная ось  $Y$  совпадает с горизонтальным диаметром среднего сечения, а вертикальная  $Z$  направлена по вертикальному диаметру среднего сечения.

Принципиальной основой в формируемых моделях служит закон сохранения энергии, то есть трансформация кинетической энергии, связанной со скоростью движения волны, в потенциальную энергию, обусловленную высотой волны.

Разработка математических моделей выполняется с использованием уравнения Лагранжа второго рода [15], которое для рассматриваемой задачи будет иметь вид:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T_{\Sigma}}{\partial \dot{q}_i} + \frac{\partial \Pi_{\Sigma}}{\partial q_i} = 0, \quad (1)$$

где  $q_i$  – обобщённая координата;

$T_{\Sigma}$  – кинетическая энергия системы;

$\Pi_{\Sigma}$  – потенциальная энергия системы.

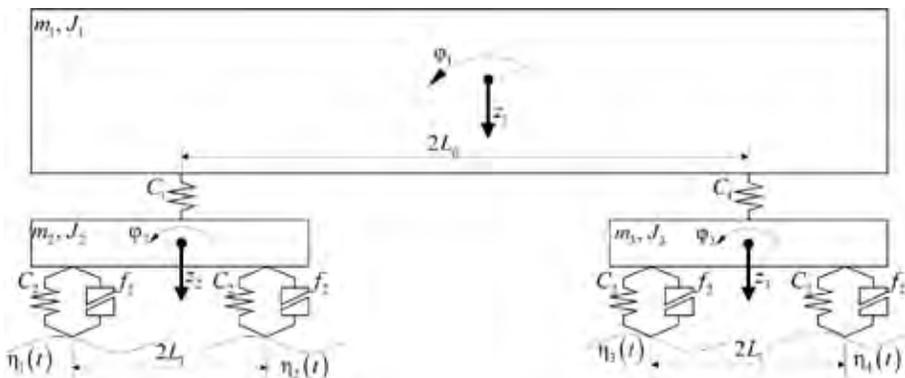


Рис. 1. Расчётная схема для определения колебаний вагона-цистерны (выполнена авторами).

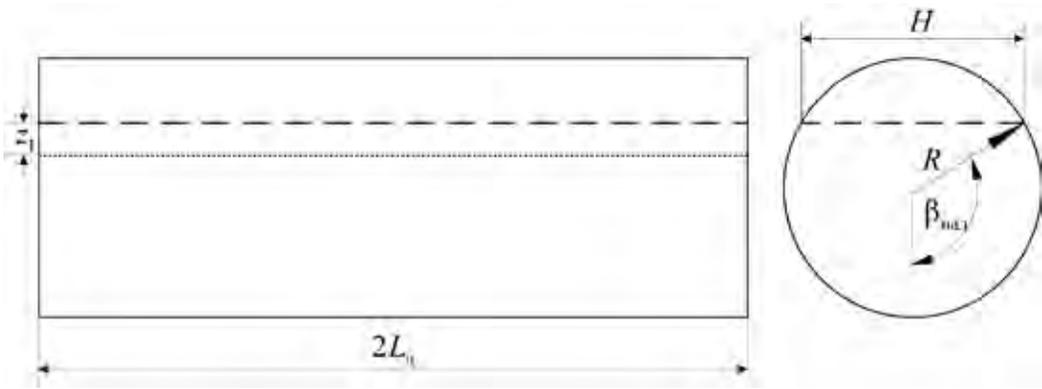


Рис. 2. Расчётная схема для определения энергетической добавки из-за колебаний жидкого груза при колебаниях подпрыгивания (составлена авторами).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Система дифференциальных уравнений

В качестве расчётной модели рассмотрим условную схему восьмиосной железнодорожной цистерны.

В работе принимаем следующие обозначения:

$m_1$  – масса брутто котла цистерны;

$J_1$  – момент инерции котла цистерны;

$m_{2,3}$  – масса соединительной балки;

$J_{2,3}$  – момент инерции соединительной балки;

$C_1$  – вертикальная жёсткость соединительной балки;

$C_2$  – вертикальная жёсткость комплекта рессорного подвешивания;

$f_2$  – коэффициент сухого трения фрикционного гасителя колебаний;

$2L_6$  – база цистерны;

$2L_{ц}$  – длина цилиндрической части котла цистерны;

$2L_1$  – база тележки;

$\eta_{1,2,3,4}(t)$  – функция неровности пути под соответствующей тележкой;

$z_1$  – вертикальное перемещение центра масс котла цистерны;

$\varphi_1$  – угол поворота котла цистерны относительно поперечной оси  $Y$ ;

$z_{2,3}$  – вертикальное перемещение центра масс соединительной балки;

$\varphi_2$  – угол поворота соединительной балки относительно поперечной оси  $Y$ ;

$\rho_{ж}$  – плотность массы перевозимого жидкого груза;

$g$  – ускорение свободного падения;

$\beta_{нал}$  – угол налива жидкого груза;

$R$  – радиус котла цистерны;

$H$  – линейный размер свободной поверхности жидкости в поперечном направлении, определяемый как  $H = 2\sin\beta_{нал}$ .

Для представленной на рис. 1 схемы система дифференциальных уравнений будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{z}_1 + C_1 (2z_1 - z_2 - z_3) = 0 \\ J_1 \ddot{\varphi}_1 + C_1 L_6 (2\varphi_1 L_6 - z_2 + z_3) = 0 \\ m_2 \ddot{z}_2 + C_1 (-z_1 - \varphi_1 L_6 + z_2) + \\ + C_2 (1 + f_{mp} \text{sign}(\Delta_3, \dot{\Delta}_3)) (2z_2 - \eta_1(t) - \eta_2(t)) = 0 \\ J_2 \ddot{\varphi}_2 + C_2 (1 + f_{mp} \text{sign}(\Delta_4, \dot{\Delta}_4)) (2\varphi_2 L_1 - \eta_1(t) - \eta_2(t)) = 0 \\ m_3 \ddot{z}_3 + C_1 (-z_1 + \varphi_1 L_6 + z_3) + \\ + C_2 (1 + f_{mp} \text{sign}(\Delta_5, \dot{\Delta}_5)) (2z_3 - \eta_3(t) - \eta_4(t)) = 0 \\ J_2 \ddot{\varphi}_3 + C_2 (1 + f_{mp} \text{sign}(\Delta_6, \dot{\Delta}_6)) (2\varphi_3 L_1 - \eta_3(t) - \eta_4(t)) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

где  $\Delta_{3,5} = 2z_{2,3} - \eta_{1,3}(t) - \eta_{2,3}(t)$ ,

$\dot{\Delta}_{3,5} = 2\dot{z}_{2,3} - \dot{\eta}_{1,3}(t) - \dot{\eta}_{2,3}(t)$ ,

$\Delta_{4,6} = 2\varphi_{2,3} L_1 - \eta_{1,3}(t) - \eta_{2,4}(t)$ ,

$\dot{\Delta}_{4,6} = 2\dot{\varphi}_{2,3} L_1 - \dot{\eta}_{1,3}(t) - \dot{\eta}_{2,4}(t)$ ,

$\text{sign}(x) = \begin{cases} 1 & \text{при } x \geq 0 \\ -1 & \text{при } x < 0 \end{cases}$  – разрывная функция,

обозначающая смену знака.

В приведённой системе дифференциальных уравнений (2) перевозимый жидкий груз воспринимается как твёрдое тело. Естественно, что величины кинетической и потенциальной энергий волнового движения поверхности жидкости зависят от высоты волн, возникающих на свободной поверхности жидкого груза. При моделировании в задачах колебания свободной поверхности жидкости можно ввести предположение, что общий объём смещающейся жидкости примерно соответствует объёму слоя жидкости, опре-



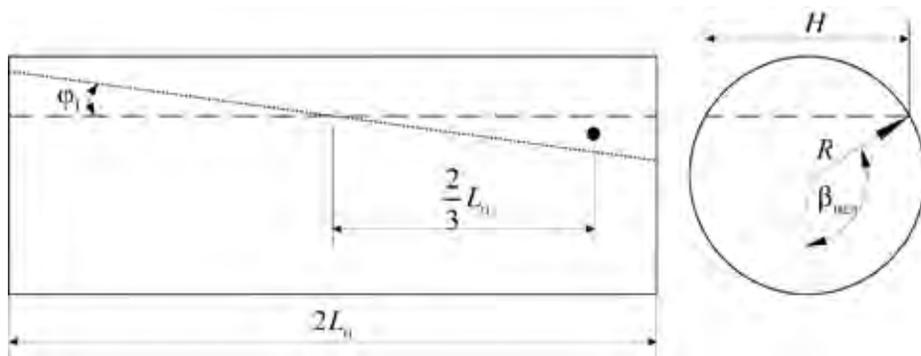


Рис. 3. Расчётная схема для определения энергетической добавки из-за колебаний жидкого груза при колебаниях галопирования (составлена авторами).

деляемого смещения подпрыгивания, то есть величиной  $z_1$  (рис. 2). Такое предположение можно обосновать тем, что объём волны, поднимаемой над слоем, находящимся в покое, равен объёму волны, находящемуся под этим слоем. Таким образом, в представленную модель дополнительно вводятся вклады кинетической  $T_ж$  и потенциальной  $P_ж$  энергий жидкого груза, перемещающегося вследствие колебаний котла цистерны.

Определим объём и массу жидкого груза, захваченного вследствие колебаний подпрыгивания. Будем считать, что этот уровень соответствует уровню перемещения котла цистерны  $z_1$ . Тогда объём этой массы будет равен:

$$V_ж = 2R \sin \beta_{нал} 2L_ц z_1.$$

Тогда кинетическая  $T_{жврт}$  и потенциальная  $P_{жврт}$  энергии будут определяться как:

$$T_{жврт} = \frac{\rho_ж 2R \sin \beta_{нал} 2L_ц z_1 \dot{z}_1^2}{2}, \quad (3)$$

$$P_{жврт} = \rho_ж 2R \sin \beta_{нал} 2L_ц z_1 g z_1.$$

Подставив выражения (3) в уравнение (1), получим выражения для подстановки в исходную систему дифференциальных уравнений (2):

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial^2 T_{жврт}}{\partial \dot{z}_1^2} = 4\rho_ж R \sin \beta_{нал} L_ц (\dot{z}_1^2 + z_1 \ddot{z}_1); \quad (4)$$

$$\frac{\partial P_{жврт}}{\partial z_1} = 8\rho_ж R \sin \beta_{нал} g L_ц z_1.$$

Рассмотрим угловые колебания. При угловых колебаниях работает «схема сообщающихся сосудов», то есть при угловом смещении одного концевое сечения котла цистерны (например, вниз) второе сечение поднимается на эту же величину. И при этом, очевидно, осуществляется смещение объёма жидкости. При угловых колебаниях объём жидкости, находящейся слева от среднего сечения, дол-

жен равняться объёму жидкости, находящейся справа.

Найдём объём жидкости  $V_{жугл}$  и скорость перемещения центра масс  $v_{цт}$ , изменяющихся вследствие угловых колебаний котла цистерны:

$$V_{жугл} = L_ц^2 R \sin \beta_{нал} \phi_1; \quad v_{цт} = \frac{2}{3} L_ц \dot{\phi}_1. \quad (5)$$

С учётом этого, кинетическая  $T_{жугл}$  и потенциальная  $P_{жугл}$  энергии перетекающей жидкости будут определяться как:

$$T_{жугл} = \frac{4}{9} \rho_ж L_ц^4 R \sin \beta_{нал} \phi_1 \dot{\phi}_1^2; \quad (6)$$

$$P_{жугл} = \frac{4}{3} L_ц^3 \rho_ж R \sin \beta_{нал} g \phi_1^2.$$

Подставив выражения (6) в уравнение (1), получим выражения для подстановки в исходную систему дифференциальных уравнений (2):

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial^2 T_{ж}}{\partial \dot{\phi}_1^2} = \frac{8}{9} \rho_ж L_ц^4 R \sin \beta_{нал} (\dot{\phi}_1^2 + \phi_1 \ddot{\phi}_1); \quad (7)$$

$$\frac{\partial P_{ж}}{\partial \phi_1} = \frac{8}{3} L_ц^3 \rho_ж R \sin \beta_{нал} g \phi_1.$$

Помимо вертикального перемещения центра масс перетекающей жидкости необходимо учесть его горизонтальное смещение. Используя рассуждения, описанные выше, получим значения кинетической  $T_{жгор}$  и потенциальной  $P_{жгор}$  энергий горизонтального перемещения центра масса перетекающего жидкого груза:

$$T_{жгор} = 2 \frac{\rho_ж L_ц^2 R \sin \beta_{нал} \phi_1}{2} \left( \frac{2}{3} R \cos \beta_{нал} \dot{\phi}_1 \right)^2; \quad (8)$$

$$P_{жгор} = 2\rho_ж L_ц^2 R \sin \beta_{нал} \phi_1 g \frac{2}{3} R \cos \beta_{нал} \phi_1.$$

Подставив выражения (8) в уравнение (1), получим выражения для включения в исходную систему дифференциальных уравнений (2):

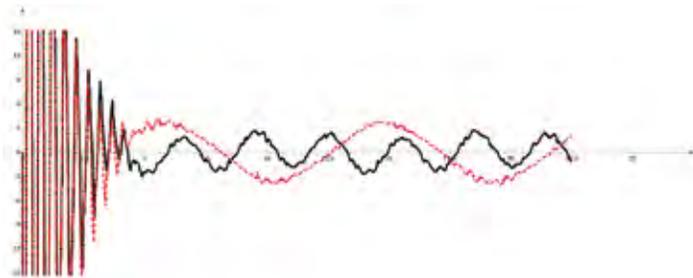


Рис. 4. Пример графика изменения сил, действующих на опоры котла цистерны: чёрный график – изменения сил без учёта движения жидкого груза, красный (пунктир) – изменения сил на опорах котла цистерны с учётом движения жидкого груза (составлено авторами).

Таблица 1

**Коэффициенты вертикальной динамики (расчёты авторов)**

Скорость, км/ч	Уровень заполнения котла цистерны жидким грузом							
	95 %		80 %		70 %		50 %	
	$k_{д1}$	$k_{д2}$	$k_{д1}$	$k_{д2}$	$k_{д1}$	$k_{д2}$	$k_{д1}$	$k_{д2}$
20	0,003	0,004	0,006	0,004	0,012	0,004	0,022	0,004
40	0,014	0,017	0,01	0,017	0,015	0,017	0,017	0,016
60	0,041	0,045	0,033	0,041	0,033	0,046	0,029	0,042
80	0,124	0,132	0,1	0,124	0,087	0,126	0,079	0,131
100	0,26	0,287	0,217	0,279	0,22	0,27	0,197	0,264

$k_{д1}$  – коэффициент вертикальной динамики с учётом колебаний жидкого груза;  
 $k_{д2}$  – коэффициент вертикальной динамики без учёта колебаний жидкого груза.

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial^2 T_{ж}}{\partial \dot{\varphi}_1^2} = \frac{8}{9} \rho_{ж} L_{ц}^2 R^3 \sin \beta_{нал} \cos^2 \beta_{нал} (\dot{\varphi}_1^2 + \varphi_1 \ddot{\varphi}_1); \quad (9)$$

$$\frac{\partial \Pi_{ж}}{\partial \varphi_1} = \frac{8}{3} L_{ц}^2 \rho_{ж} R^2 \sin \beta_{нал} \cos \beta_{нал} g \varphi_1.$$

Таким образом, подставив выражения (4), (7) и (9), получим общую систему дифференциальных уравнений колебаний оболочки котла цистерны с учётом динамики жидкого груза (10).

$$\left\{ \begin{aligned} & m_1 \ddot{z}_1 + C_1 (2z_1 - z_2 - z_3) + \\ & + 4\rho_{ж} R \sin \beta_{нал} L_{ц} (\dot{z}_1^2 + z_1 \ddot{z}_1) + \\ & + 8\rho_{ж} R \sin \beta_{нал} g L_{ц} z_1 = 0 \\ & J_1 \ddot{\varphi}_1 + C_1 L_{ц} (2\varphi_1 L_{ц} - z_2 + z_3) + \\ & + \frac{8}{9} \rho_{ж} L_{ц}^4 R \sin \beta_{нал} (\dot{\varphi}_1^2 + \varphi_1 \ddot{\varphi}_1) + \\ & + \frac{8}{3} L_{ц}^3 \rho_{ж} R \sin \beta_{нал} g \varphi_1^2 + \\ & + \frac{8}{9} \rho_{ж} L_{ц}^2 R^3 \sin \beta_{нал} \cos^2 \beta_{нал} (\dot{\varphi}_1^2 + \varphi_1 \ddot{\varphi}_1) + \\ & + \frac{8}{3} L_{ц}^2 \rho_{ж} R^2 \sin \beta_{нал} \cos \beta_{нал} g \varphi_1 = 0 \\ & m_2 \ddot{z}_2 + C_1 (-z_1 - \varphi_1 L_{ц} + z_2) + \\ & + C_2 (1 + f_{тр} \text{sign}(\Delta_3, \dot{\Delta}_3)) (2z_2 - \eta_1(t) - \eta_2(t)) = 0 \\ & J_2 \ddot{\varphi}_2 + C_2 (1 + f_{тр} \text{sign}(\Delta_4, \dot{\Delta}_4)) (2\varphi_2 L_1 - \eta_1(t) - \eta_2(t)) = 0 \\ & m_3 \ddot{z}_3 + C_1 (-z_1 + \varphi_1 L_{ц} + z_3) + \\ & + C_2 (1 + f_{тр} \text{sign}(\Delta_5, \dot{\Delta}_5)) (2z_3 - \eta_3(t) - \eta_4(t)) = 0 \\ & J_2 \ddot{\varphi}_3 + C_2 (1 + f_{тр} \text{sign}(\Delta_6, \dot{\Delta}_6)) (2\varphi_3 L_1 - \eta_3(t) - \eta_4(t)) = 0. \end{aligned} \right. \quad (10)$$

**Решение**

Полученная система дифференциальных уравнений (10) решалась численным методом Рунге–Кутты в программной среде Mathcad [16]. В качестве неровностей задавалась аппроксимирующая функция неровности пути, предложенная в литературе [4]:

$$\eta(t) = b_1 \sin\left(\frac{\pi v}{L_p} t\right) + b_2 \sin\left(\frac{3\pi v}{L_p} t\right).$$

В результате численного интегрирования системы дифференциальных уравнений были получены значения сил на опорах котла цистерны.

На рис. 4 приведён пример графика, построенного для случая движения вагона со скоростью 20 км/ч и степенью заполнения 80 %. На графике видно, что при установившихся режимах движения амплитуда сил с учётом движения жидкого груза увеличилась примерно на 60 %, а также увеличился период колебаний в три раза.

**ОБСУЖДЕНИЕ**

Некоторые результаты численной реализации предложенного подхода представлены на рис. 4 и в табл. 1. Полученные результаты достаточно хорошо согласуются с результатами, полученными методом математического моделирования с применением программного комплекса «Универсальный механизм» [12; 13]. Следует отме-





тять, что при низких скоростях движения и, как следствие, низких частотах возмущающих воздействий, влияние жидкого груза оказывается максимальным. Это достаточно хорошо прослеживается по результатам, представленным в табл. 1. В частности, при скорости 20 км/ч и степени заполнения 50 % заметно существенное влияние жидкого груза.

Верификация полученных решений с использованием различных исходных данных показала удовлетворительную сходимость результатов с применением других подходов.

## ВЫВОДЫ

В результате использования предложенного подхода была получена система дифференциальных уравнений. Система уравнений имеет нелинейный характер. Ввиду сложности получения аналитического решения данной системы был применён численный метод решения дифференциальных уравнений Рунге–Кутты 4-го порядка.

Данный подход позволяет оценить влияние перевозимого жидкого груза в вагонах-цистернах, в частности, определить влияние уровня заполнения котла цистерны жидким грузом на динамические качества при различных параметрах котла цистерны и упругих элементов всего вагона.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Богомаз Г. И. Динамика железнодорожных вагонов-цистерн. – Киев: Наукова думка, 2004. – 223 с. [Электронный ресурс]: [https://www.studmed.ru/bogomaz-g-i-dinamika-zheleznodorozhnyh-vagonov-cistern\\_741466e810b.html](https://www.studmed.ru/bogomaz-g-i-dinamika-zheleznodorozhnyh-vagonov-cistern_741466e810b.html). Доступ 19.02.2021.
2. Черкашин Ю. М. Динамика наливного поезда // Тр. ЦНИИ МПС. – М.: Транспорт, 1975. – Вып. 543. – 136 с.
3. Сергеев К. А., Григорьев П. С., Козлов М. П., Суворова К. Е. Напряжённо-деформированное состояние цилиндрической оболочки котла цистерны при колебаниях на периодической неровности пути // Наука и техника транспорта. – 2020. – С. 66–70. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42854183>. Доступ 19.02.2021.
4. Вершинский С. В., Данилов В. Н., Хусидов В. Д. Динамика вагона: Учебник для вузов жд. трансп. / Под ред. С. В. Вершинского. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1991. – 360 с.

5. Iwnicki, S. D., Stichel, S., Orlova, A., Hecht, M. Dynamics of railway freight vehicles. *Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, 2015, Vol. 53, Iss. 7, pp. 995–1033. DOI: <https://doi.org/10.1080/00423114.2015.1037773>.

6. Bepalko, S., Grigorev, P., Ibodulloev, Sh., Turajonov, K., Numonov, A. Mathematical model of oscillations of a railway tank car with partial filling under shunting collision. 2020 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020, Vol. 883, p. 012134. [Электронный ресурс]: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/883/1/012134>. Доступ 19.02.2021.

7. Bepalko, S. V., Grigoriev, P. S., Ruzmatov, M. I., Ibodulloev, Sh. R. A study method for possible breakdown of boiler tank for dangerous goods in an emergency collision. *E3S Web of Conferences*, 2020, Vol. 224, p. 01045. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022401045>.

8. Ranganathan, R., Yang, Y. S. Impact of Liquid Shift on the Braking Characteristics of Partially Filled Tank Vehicles. *Vehicle System Dynamics*, 1996, Vol. 26, No. 3, pp. 223–240. DOI: 10.1080/00423119608969310.

9. Высоцкий М. С., Плескачевский Ю. М., Шимановский А. О. Динамика автомобильных и железнодорожных цистерн. – Минск: Белавторакторостроение, 2007. – 320 с.

10. Шимановский А. О., Плескачевский Ю. М., Высоцкий М. С. Перспективы исследований динамики цистерн для транспортировки жидких грузов // *Механика машин, механизмов и материалов*. – 2007. – № 1. – С. 38–42.

11. Путько А. В., Шимановский А. О. Моделирование нагруженности элементов конструкции цистерн // *Проблемы механики железнодорожного транспорта: безопасность движения, динамика, прочность подвижного состава, энергосбережение: Тез. докл. XII Междунар. конф.*, 28–30.05.2008 г. – Днепропетровск: ДНУЖТ, 2008. – С. 142.

12. Универсальный механизм: программы, руководство пользователя, презентации. Веб-сайт: [Электронный ресурс]: <http://www.umlab.ru/pages/index.php?id=3>. Доступ 19.02.2021.

13. Бороненко Ю. П., Житков Ю. Б. Особенности динамики вагона-цистерны с жидким грузом // *Известия ПГУПС*. – 2017. – № 4. – С. 597–604. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-dinamiki-vagona-tsisterny-s-zhidkim-gruzom/pdf>. Доступ 19.02.2021.

14. Mantriota, G. Directional stability of articulated tank vehicles: A simplified model. *Heavy Vehicle Systems, Int. J. of Vehicle Design*, 2003, Vol. 10, Iss. 1/2, pp. 144–165. DOI: 10.1504/IJHVS.2003.002438.

15. Лавренко Д. Т. Математическая модель пространственных колебаний вагонов-цистерн // *Збірник праць ДонІЗТ*. – 2008. – № 14. – С. 126–136. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskaya-model-prostranstvennyh-koлебaniy-vagonov-tsistern/pdf>. Доступ 19.02.2021.

16. Maxfield, B. *Essential PTC Mathcad Prime 3.0: A Guide for New and Current Users*. Elsevier Inc., 2014, 564 p. ISBN: 978-0-12-410410-5. ●

### Информация об авторах:

**Григорьев Павел Сергеевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры электропоездов и локомотивов Российского университета транспорта, Москва, Россия, [grigorev.p@gmail.com](mailto:grigorev.p@gmail.com).

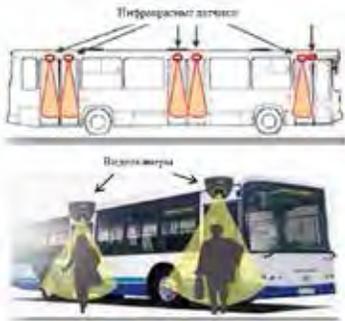
**Коржин Сергей Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры вагонов и вагонного хозяйства Российского университета транспорта, Москва, Россия, [korjin@miit.ru](mailto:korjin@miit.ru).

**Ибодуллоев Шерзод Рустамович** – аспирант кафедры механики и математического моделирования Национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Ташкент, Узбекистан, [sherzod\\_uztu@inbox.ru](mailto:sherzod_uztu@inbox.ru).

**Чан Фу Тхуан** – доктор технических наук, первый заместитель председателя Общества вьетнамских граждан в Российской Федерации, Хошимин, Вьетнам, [tranphuthuan@yahoo.com](mailto:tranphuthuan@yahoo.com).

Статья поступила в редакцию 19.02.2021, одобрена после рецензирования 20.04.2021, принята к публикации 23.04.2021.

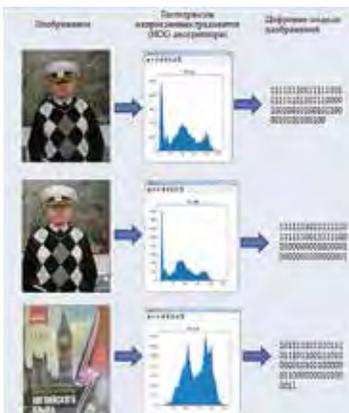
# T



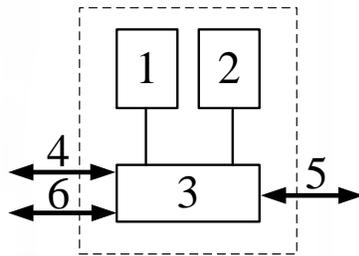
## НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБЩЕСТВЕННЫЙ ТРАНСПОРТ

32

Компьютерное зрение и нейросети  
как основа автоматизации создания  
матрицы корреспонденций.



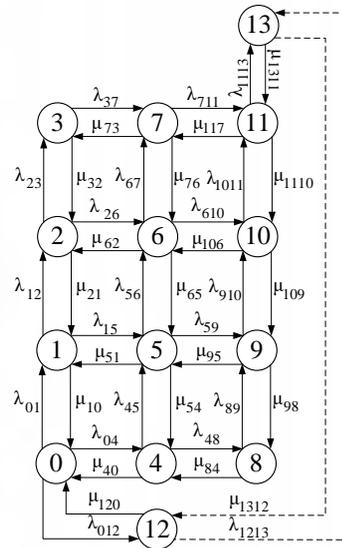
## НАУКА И ТЕХНИКА

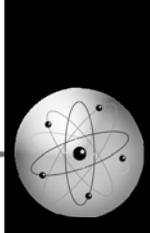


## РАДИОСВЯЗЬ НА ТРАНСПОРТЕ

41

Расчёт работоспособности  
и состояний базовых станций  
в цифровых сетях.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ  
УДК 004; 629.3.053  
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-5>

## Автоматизация сбора первичных данных для формирования матрицы корреспонденций поездок пассажиров на основе компьютерного зрения и нейросетевых технологий



*Анатолий Владимирович Постолиит*

*Компания Smart Information Systems, Москва, Россия.*

✉ [anat\\_post@mail.ru](mailto:anat_post@mail.ru).

Анатолий ПОСТОЛИИТ

### АННОТАЦИЯ

Матрица корреспонденций является фундаментальной характеристикой транспортной сети, а формирование достоверной матрицы корреспонденций является важнейшей задачей при организации пассажирских перевозок. Она является той основой, на базе которой строится маршрутная сеть общественного транспорта города (региона) и выполняется её оптимизация.

В настоящее время сбор исходной информации для построения матрицы корреспонденций зачастую осуществляется путём натурных обследований: анкетирования населения, учёта перемещения пассажиров по выдаваемым им талонам, использования учёточков в салонах транспортных средств, простого опроса пассажиров. Кроме того, используется математическое моделирование, основанное на статистических данных о количестве жителей в различных районах города, количестве работников на предприятиях и учащихся в учебных заведениях, а также на ранее полученной информации о характеристиках пассажиропотока по определённым маршрутам. Все эти обследования очень дороги, проводятся только раз в несколько лет, дают большую погрешность, из-за чего принимать на основе этих данных решения далеки от оптимальных.

На рынке программно-технических средств имеется масса решений, обеспечивающих автоматизированный сбор данных о пассажиропотоках. Они базируются на использовании либо инфракрасных датчиков, либо видеокамер. Однако ни одна из этих систем не даёт информации о точках входа-выхода каждого пассажира.

Целью настоящего исследования явилась разработка методов автоматизации получения достоверной информации о поездках пассажиров, на основе которой можно строить актуальные и достоверные матрицы корреспонденций поездок пассажиров. Данная задача может быть решена путём постоянного мониторинга поездок пассажиров с фиксацией места входа и выхода каждого пассажира.

Описана возможность создания программного обеспечения на основе компьютерного зрения и искусственного интеллекта, что обеспечит автоматизацию сбора первичной информации о перемещении каждого пассажира от места посадки в транспортное средство до выхода из него, то есть автоматизацию формирования данных для построения матрицы корреспонденций поездок пассажиров.

**Ключевые слова:** пассажирский транспорт, пассажиропотоки, матрица корреспонденций, искусственный интеллект, нейронные сети, машинное обучение, компьютерное зрение.

**Для цитирования:** Постолиит А. В. Автоматизация сбора первичных данных для формирования матрицы корреспонденций поездок пассажиров на основе компьютерного зрения и нейросетевых технологий // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 2 (93). С. 32–40. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-5>.

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

## ВВЕДЕНИЕ

Матрица корреспонденций – это базовая таблица, описывающая характер передвижения населения по городу. Она показывает, сколько жителей перемещается из одного района города в другой, и является той базой, на основе которой строится маршрутная сеть, определяется необходимое количество подвижного состава, формируется расписание движения [1; 2].

В современных городах и крупных мегаполисах возводится масса объектов жилой и промышленной инфраструктуры, переносятся предприятия, меняются места приложения труда и проживания, что приводит к динамичному изменению объёмов и направлений транспортных корреспонденций. В этих условиях построение истинных матриц корреспонденций требует абсолютно достоверной информации о реальных перемещениях пассажиров.

На рынке программно-технических средств имеется масса решений, обеспечивающих автоматизированный сбор данных о пассажиропотоках. В большинстве случаев они основаны на инфракрасных датчиках [3] и видеокамерах в проёмах дверей входа-выхода в транспортное средство [4]. Однако ни одна из существующих систем автоматизации сбора данных о пассажиропотоках не даёт информации о точках входа-выхода каждого пассажира. А именно на этих данных строятся матрицы корреспонденций поездок пассажиров. Из-за отсутствия таких данных матрицы корреспонденций по-прежнему формируют на основе выборочных обследований, опросах населения, на статистических

данных о количестве жителей в тех или иных районах города и количестве работников на предприятиях. Эти данные не отражают реальной картины ежедневной миграции городского населения. Соответственно, принимаемые на основе этой информации решения далеки от оптимальности. Все существующие методы автоматизации учёта пассажиропотоков не позволяют получить данные для построения матрицы корреспонденций поездок.

Исходя из вышесказанного, целью настоящего исследования явилась разработка методов автоматизации получения данных для формирования полной и достоверной матрицы корреспонденций передвижения населения на общественном наземном пассажирском транспорте.

Данная задача может быть решена путём постоянного мониторинга поездок пассажиров с фиксацией места входа и выхода каждого пассажира. Для фиксации места входа и выхода каждого пассажира предлагается использовать методы компьютерного зрения и искусственного интеллекта.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Недостатки существующих технологий для решения актуальных задач

При решении задачи оптимизации маршрутной сети общественного транспорта следует чётко разделять два понятия: пассажиропоток и матрица корреспонденций перемещения пассажиров. Пассажиропоток в большей степени характеризует общую статистику перемещения пассажиров (количество пассажиров в разное время суток, дни недели, время года и т. п.) с привязкой к оста-

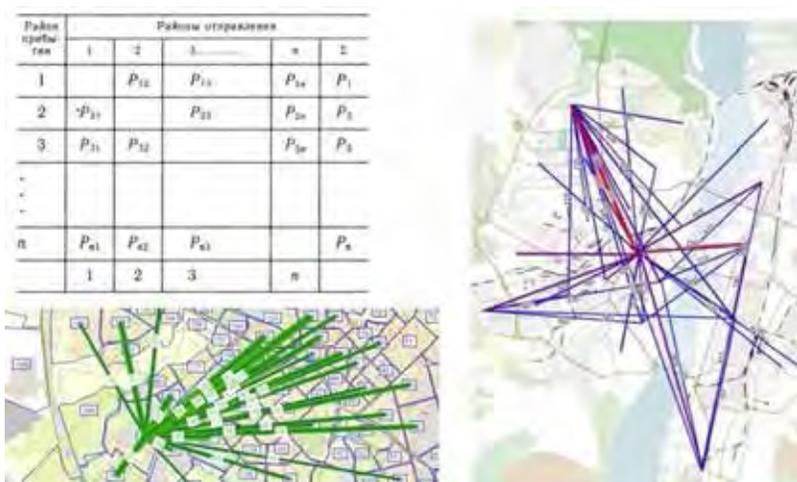


Рис. 1. Матрица корреспонденций поездок пассажиров [1; 2].



Рис. 2. Автоматизированные системы учёта пассажиропотока [4].

новке, маршруту, транспортному предприятию, городу и т. д. Матрица корреспонденций (рис. 1) является количественной характеристикой, которая определяет объём потока пассажиров между каждой парой «точек» [1; 2]. Под «точками» здесь понимаются либо конкретные остановки общественного транспорта, либо условные зоны, которые были получены путём объединения остановочных пунктов в некоторые области (например, районы города).

Матрица корреспонденций является фундаментальной характеристикой транспортной сети, а формирование истинной матрицы корреспонденций является важнейшей задачей при организации пассажирских перевозок. Матрица корреспонденций является той основой, на базе которой строится маршрутная сеть общественного транспорта и выполняется её оптимизация. В свою очередь, грамотно построенная маршрутная сеть позволяет определить необходимое количество подвижного состава на маршрутах, оптимизировать расписание движения, снизить материальные затраты на организацию перевозок и, в конечном счёте, с минимальными затратами удовлетворить потребность населения в транспортных услугах.

Автоматизация учёта пассажиропотоков в настоящее время достаточно глубоко проработана и реализована в виде множества различных технических решений – контактные датчики на ступеньках транспортного средства, инфракрасные датчики [3] или видеокамеры [4] в районе входной двери (рис. 2).

Однако статистические данные о пассажиропотоках на маршрутах не дают возможность построить матрицу корреспонденций поездок пассажиров. Это всего лишь общие данные о входящих и выходящих пассажирах.

На текущий момент автоматизация сбора данных для формирования матрицы корреспонденций пассажиров фактически не реализована. Эта задача решается с достаточно большой погрешностью и с большими затратами на основе специально организованных натуральных обследований. Стоит отметить, что натурные методы обследования зачастую связаны со значительными проблемами организационного, финансового и правового характера, поэтому их применение иногда становится невозможным, особенно в крупных городах, где пассажиропотоки велики. На некоторых видах транспорта (железнодорожный, воздушный, водный) задача формирования матрицы корреспонденций может быть решена на основе анализа купленных билетов, где указаны пункты отправления и прибытия.

Классическим методом получения данных для построения матрицы корреспонденций являются натурные обследования (талонные, анкетирование населения, опрос пассажиров счётчиками поездок и т. п.), а также использование методов математического моделирования [5]. Недостатками натуральных обследований являются значительная трудоёмкость по сбору и обработке данных, низкая достоверность данных из-за человеческого фактора, высокая стоимость обследования, отсутствие статистики повторяемости (невозможно выделить погодные условия, время года, и другие особенности текущего дня). Высокая стоимость и трудоёмкость обследования приводят к тому, что такие обследования проводятся раз в 15–20 лет, что не даёт возможности оперативно корректировать и оптимизировать управленческие решения.

Существуют подходы к автоматизации формирования приблизительной матрицы корреспонденций на метрополитене с использованием мобильных телефонов пассажиров [6]. Операторы сотовой связи могут отслеживать входы и выходы пассажиров, определяя моменты, когда их мобильный абонент переключается на базовую станцию, размещённую в метро (входит) или на базовую станцию в городе (выходит). Такие анонимные данные могут служить основой для формирования

матрицы корреспонденций для каждой пары станций метрополитена. Однако такой подход неприемлем для наземного пассажирского транспорта. Трудности решения этой задачи также связаны с большой размерностью первичной информации и с отсутствием единой методики получения матрицы корреспонденций для города, которая должна включать в себя не только трудовые и учебные передвижения, но и передвижения культурно-бытового характера, а также поездки пенсионеров.

Ежедневно на общественном транспорте работающее население города и учащиеся совершают поездки к местам работы и учёбы. Такие поездки составляют наибольшую долю, поскольку они носят регулярный характер. Однако существуют перемещения неработающих пенсионеров, а также другие перемещения граждан, которые носят культурно-бытовой характер. Эти перемещения так или иначе влияют на загруженность городских маршрутов. Общая матрица корреспонденций поездок, включающая в себя как трудовые, так и культурно-бытовые передвижения, позволит в полной мере описать характер всех передвижений в городе. Для целей оптимизации маршрутной сети такая детализация представляется особенно важной.

### Описание предлагаемой технологии

А можно ли автоматизировать процесс учёта поездок с чёткой фиксацией места входа и выхода каждого пассажира? Решить такую задачу на базе инфракрасных датчиков практически невозможно, поскольку они не позволяют идентифицировать объект. А вот на базе видеокамер это вполне реально. В последние годы с развитием свёрточных нейронных сетей (CNN, R-CNN, Mask R-CNN) произошло взрывное развитие нейросетевых технологий и систем компьютерного зрения. Соответственно появилась возможность разработки принципиально новых автоматизированных систем учёта и анализа пассажиропотоков на базе этих технологий с возможностью формирования достоверной и полной матрицы корреспонденций поездок пассажиров на городском наземном пассажирском транспорте. Разработка такой системы, отсутствующей на рынке программно-технических средств, и является новизной данной работы.

Принципиальная структура системы автоматизации сбора первичных данных о поезд-

ках пассажиров на общественном транспорте, которая базируется на нейросетевых технологиях, и разработана в рамках данного исследования, представлена на рис. 3.

Программно-технический комплекс, приведённый на рис. 3, состоит из следующих элементов:

- видеокамера, расположенная в верхней части проёма входной двери транспортного средства;
- бортовой мини-компьютер.

Этот комплекс работает следующим образом. Видеопоток в режиме реального времени поступает с видеокамеры в бортовой компьютер и обрабатывается специализированным программным обеспечением. Данное программное обеспечение решает следующие задачи:

- распознаёт пассажиров, которые входят в салон транспортного средства и выходят из него (детектор пассажиров – вид сверху);
- преобразовывает изображение каждого входящего пассажира в уникальную цифровую модель и сохраняет её;
- фиксирует параметры входа каждого пассажира (дата, время, остановка входа);
- преобразовывает изображение каждого выходящего пассажира в уникальную цифровую модель и сохраняет её;
- фиксирует параметры выхода каждого пассажира (дата, время, остановка выхода);
- сопоставляет цифровую модель изображения выходящих пассажиров с цифровыми моделями вошедших пассажиров и формирует уникальную пару значений вход-выход для каждого пассажира;
- подсчитывает количество пассажиров: вошедших в салон, вышедших из салона, находящихся в салоне транспортного средства на каждом остановочном пункте.

Полученные таким образом параметры поездки каждого пассажира по завершении работы транспортного средства на маршруте передаются на серверную платформу, где на базе серверного программного обеспечения будет формироваться матрица корреспонденций поездок пассажиров и статистика по пассажиропотокам.

На первый взгляд можно, не используя цифровые модели, просто сопоставлять снимок пассажира на входе со снимком пассажира на выходе. Однако для такого сопоставления нужно обязательно выполнять процедуру нормализации изображений. Но даже после



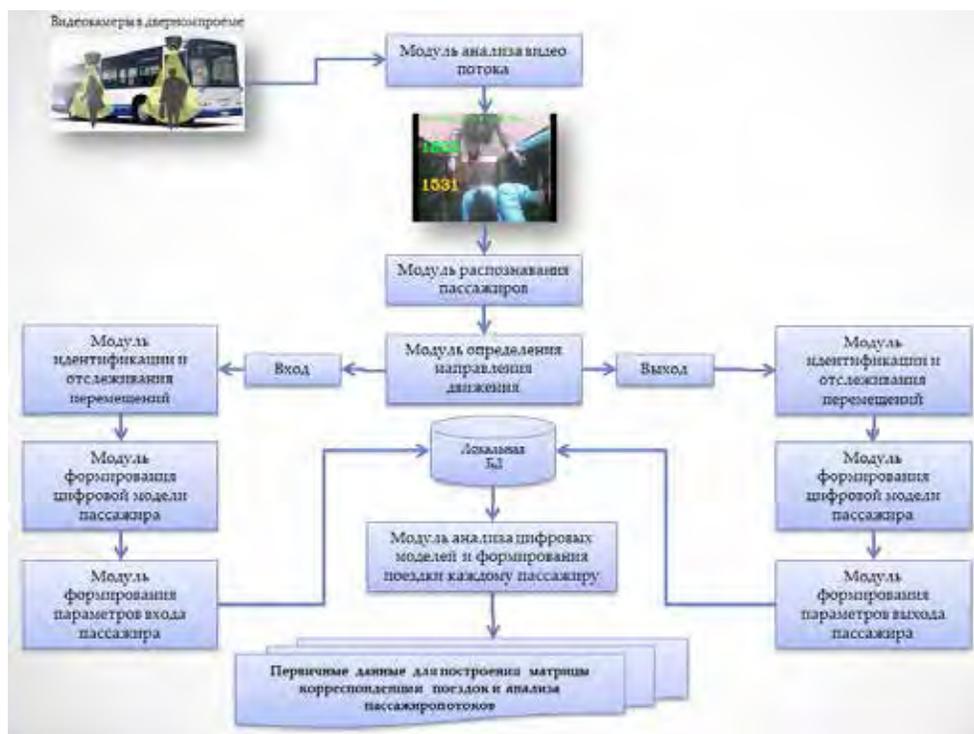


Рис. 3. Принципиальная структура системы автоматизации сбора первичных данных о поездках пассажиров на общественном транспорте на базе нейросетевых технологий (выполнено автором).

нормализации изображений можно не получить нужного результата, поскольку пассажир может войти прямо, а выйти боком, под каким-либо углом или даже спиной. Нужна многократная циклическая процедура поворота и сравнения изображений, что потребует и дополнительного времени на обработку и может не привести к ожидаемому результату. Кроме того, полное изображение занимает достаточно большой объем оперативной памяти, что также потребует больших временных ресурсов на обработку. Более правильно в этом случае использовать цифровую идентификационную модель изображения. Такие модели строятся на основе выделения на изображениях набора ключевых точек. В качестве основы для таких моделей может использоваться триангуляция Делоне или диаграммы Вороного, которые используются в системах сопоставления и морфинга лиц. Могут быть использованы гистограммы направленных градиентов (HOG дескрипторы особых точек), которые используются в компьютерном зрении для распознавания объектов [7].

В настоящее время с участием автора исследования начата реализация технологии и программных модулей для автоматизации

сбора данных о поездках пассажиров на основе нейросетевых технологий и компьютерного зрения. На рис. 4 приведены примеры формирования цифровых моделей изображений, которые построены на основе гистограммы направленных градиентов. Здесь изображения приводились к одному цвету – градация серого.

Естественно, что цифровая модель занимает в памяти компьютера гораздо меньше места и, кроме того, даёт возможность сравнивать изображения и оценивать их подобие. На рис. 5 представлены примеры сопоставления изображений на основе их цифровых моделей.

Как видно из рис. 5, для абсолютно одинаковых изображений коэффициент отличия, рассчитанный на основе цифровой модели, равен нулю. С нарастанием разности между фрагментами изображений характеристика отличий увеличивается. Так во втором ряду один и тот же человек сменил положение головы, и это изменение было зафиксировано в гистограмме. Однако характеристика отличия (14) не превысила порогового значения (19), и изображённые на них объекты можно отнести к идентичным. А вот в третьем ряду характеристика отличия (22) превысила по-

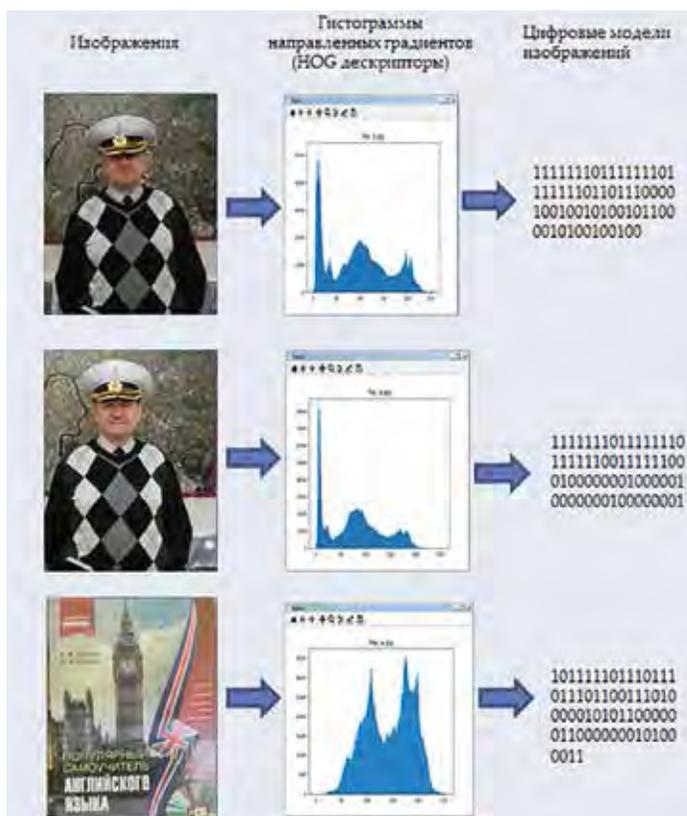


Рис. 4. Цифровые модели изображений на основе гистограммы направленных градиентов (выполнено автором).

роговое значение, что говорит о том, что на изображениях разные объекты (пороговое значение определяется опытным путём). С использованием цифровой модели и правильно подобранного порогового значения можно оценивать сходство или различия объектов на изображениях, то есть для рассматриваемой задачи – найти соответствие между вошедшим и вышедшим пассажиром. С ещё большей точностью можно сопоставлять объекты на изображениях с использованием гистограммы не одного цвета, а гистограмм группы цветов (рис. 6).

Особый интерес для поиска сходства в изображениях представляют методы гомографии, при использовании которых углы поворота и наклона сравниваемых изображений не имеют принципиального значения [8]. Это особенно важно для решения рассматриваемой задачи, поскольку положение пассажира при перемещении в районе камеры над входной дверью не может быть строго фиксированным. На рис. 7 представлен пример визуального сопоставления изображений методом гомографии. Чтобы обеспечить до-

статочную точность распознавания пассажира на входе и выходе, потребуется использовать комбинацию отмеченных выше способов формирования и сопоставления цифровых моделей.

Для того чтобы зафиксировать место входа-выхода пассажира на основе его изображения в видеопотоке, необходимо выполнить следующие шаги:

- распознать силуэт пассажира при его входе в салон транспортного средства;
- сегментировать силуэт, преобразовать его в цифровую модель и зафиксировать параметры входа;
- распознать силуэт пассажира при его выходе из салона транспортного средства;
- сегментировать силуэт, преобразовать его в цифровую модель и зафиксировать параметры входа или выхода;
- для вышедшего пассажира на основе сопоставления цифровых моделей найти параметры входа и сформировать поездку (остановка входа – остановка выхода).

Место (остановка) входа и выхода пассажира может быть определено с помощью



Рис. 5. Примеры сопоставления изображений на основе их цифровых моделей (выполнено автором).

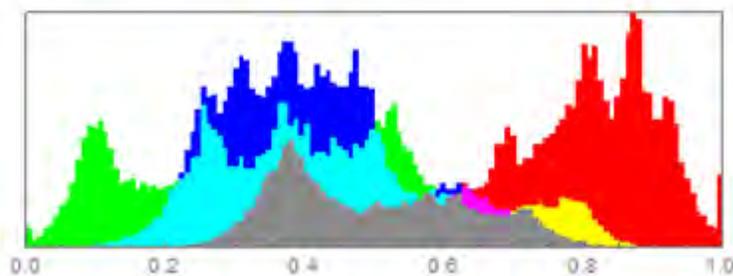


Рис. 6. Пример гистограммы цветов изображения (выполнено автором).

бортовой спутниковой навигационной системы транспортного средства. Синхронизация первичных данных о местах входа-выхода пассажиров с остановочными пунктами могут осуществляться либо на уровне транспортного средства (путём интеграции бортового программного обеспечения двух подсистем), либо на серверной части системы обработки навигационных данных (путём сопоставления времени входа-выхода пассажиров из системы учёта поездок пассажиров со временем проезда остановочных пунктов – данных, получаемых от навигационной системы).

В результате обработки видеоматериалов программное обеспечение формирует обезличенные данные о поездках пассажиров с указанием следующих параметров:

- остановочный пункт, дата и время посадки в транспортное средство;
- остановочный пункт, дата и время выхода из транспортного средства.

Эта информация записывается в бортовой журнал в виде текстового файла. Такой файл, содержащий, например, сведения о 1000 поездках пассажиров, будет занимать в памяти компьютера не более 50 Кб. После завершения работы транспортного средства на марш-



Рис. 7. Визуальное сопоставление изображений методом гомографии (выполнено автором).

руте этот массив данных должен передаваться на стационарный компьютер (или на серверную платформу), где на его основе будет формироваться матрица корреспонденций поездок пассажиров. Кроме того, на основе этого же массива данных можно будет получить и традиционную отчётность о пассажиропотоках.

Решение поставленной задачи основано на использовании нейронных сетей, машинного обучения и различных методов обработки изображений. В связи с этим для разработки программного обеспечения были применены следующие инструментальные средства:

- язык программирования Python;
- специализированные библиотеки для построения нейронных сетей и машинного обучения (Keras [9], PyBrain, Scikit-learn, TensorFlow, PyTorch с torchvision и др.);
- библиотеки для обработки изображений и работы с матрицами (OpenCV [10], ImageAI [11], NumPy).

Для упрощения создания аналогичных приложений и сокращения программного кода разработана собственная библиотека постобработки изображений (Postoperative Library for Image Transformation – PostoLIT).

На сегодняшний день с использованием этого инструментария реализованы некоторые базовые модули системы компьютерного зрения для решения поставленной задачи, в частности:

- нейронные сети R-CNN для распознавания объектов;
- модули сегментации и кластеризации изображений на основе каскадов Хаара;
- модули распознавания и сегментации экземпляров объектов на базе сетей Mask R-CNN;

- модули распознавания ключевых точек изображения (на основе технологий поиска лицевых ориентиров и элементов лица);

- модули построения цифровых моделей изображений на основе гистограммы направленных градиентов;

- модули сопоставления изображений на основе гомографии и HOG детекторов.

Для кого могут представлять интерес системы автоматизированного сбора данных о поездках с фиксацией места входа-выхода каждого пассажира? В первую очередь, это пассажирские автотранспортные предприятия.

Например, в России, согласно данным аналитического агентства «Автостат», по состоянию на 1 января 2020 года насчитывается порядка 409,9 тыс. автобусов<sup>1</sup>, более 8 тыс. трамваев<sup>2</sup> и 4 тыс. троллейбусов<sup>3</sup>. Это достаточно большой парк транспортных средств, на которых может использоваться данная система. Такие системы представляют интерес для городских и региональных органов власти, которые обеспечивают организацию транспортного обслуживания населения. На сегодняшний день в Российской Федерации насчитывается 85 субъектов и 1117 городов, из них 173 города имеют население свыше 100 тыс. жителей<sup>4</sup>. В России насчитывается 43 крупнейших поставщика информационных систем для транспортных компаний, которые сре-

<sup>1</sup> Российский парк автобусов: основные показатели на начало 2020 года. [Электронный ресурс]: <https://www.avtoestat.ru/infographics/43090/>. Доступ 25.02.2021.

<sup>2</sup> Состояние трамвайной системы в России. [Электронный ресурс]: <http://www.ipem.ru/news/publications/914.html>. Доступ 25.02.2021.

<sup>3</sup> Троллейбусные города России. [Электронный ресурс]: <http://trollcity.narod.ru/stat.htm>. Доступ 25.02.2021.

<sup>4</sup> Федеральное устройство России. [Электронный ресурс]: <https://mnogofactov.ru/goroda-i-strany/skolko-subektov-v-rf-na-2019-god.html>. Доступ 25.02.2021.



ди прочих программных продуктов разрабатывают и внедряют системы учёта пассажиропотоков<sup>5</sup>. Они смогут использовать разработанные программные модули для встраивания их в свои уже существующие системы учёта пассажиропотоков и в автоматизированные системы оплаты проезда, тем самым расширяя их функциональные возможности. А также создавать новые продукты на основе предложенных программных и технологических решений.

Кроме того, предлагаемый технологический подход и программное обеспечение могут оказаться востребованы не только в транспортной отрасли, но и в других сферах производственной деятельности, где требуется фиксация перемещения объектов, имеющих внешние индивидуальные особенности, где необходима оценка времени обслуживания клиентов, а также оценка эффективности работы персонала сервисных служб. Например, в системах определения времени пребывания покупателей в торговых точках, оценки времени обслуживания клиентов в МФЦ, в поликлиниках, в банках и других организациях. Всё это говорит о перспективах развития и востребованности систем компьютерного зрения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Компьютерное зрение и искусственный интеллект являются, пожалуй, самыми востребованными направлениями развития информационных технологий.

Существующие системы автоматизации сбора данных о поездках пассажиров не позволяют зафиксировать место входа и выхода каждого пассажира, соответственно на этих данных не представляется возможным построить матрицу корреспонденций.

Уровень достижений в области искусственного интеллекта и компьютерного зрения позволяет реализовать автоматиза-

<sup>5</sup> Крупнейшие поставщики ИТ для транспортных компаний 2019. [Электронный ресурс]: [https://www.cnews.ru/reviews/it\\_v\\_transportnoj\\_otrasli\\_2020/review\\_table/bf149373aea1d048bd7ffb7edc98bda8b29f7245](https://www.cnews.ru/reviews/it_v_transportnoj_otrasli_2020/review_table/bf149373aea1d048bd7ffb7edc98bda8b29f7245). Доступ 25.02.2021.

### Информация об авторе:

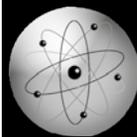
**Постолит Анатолий Владимирович** – доктор технических наук, профессор, директор компании Smart Information Systems, Москва, Россия, [anat\\_post@mail.ru](mailto:anat_post@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 25.02.2021, одобрена после рецензирования 21.04.2021, принята к публикации 23.04.2021.

цию сбора данных о поездках пассажиров на общественном транспорте с фиксацией места входа и выхода каждого пассажира. С учётом того, что на данный момент на рынке программного обеспечения отсутствуют подобные решения, они имеют весомые конкурентные преимущества и хорошую перспективу практической реализации.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Закономерности городского движения (подвижность городского населения, расчёт корреспонденций). Онлайн-презентация. [Электронный ресурс]: <https://ppt-online.org/681708>. Доступ 25.02.2021.
2. Хабаров В. И., Теселкин А. А., Косолапов К. П. Планирование экспериментов для оценки матрицы транспортных корреспонденций. Доклады АН ВШ РФ, июль–сентябрь 2015. [Электронный ресурс]: <https://docplayer.ru/27479223-Planirovanie-eksperimentov-dlya-ocenki-matricy-transportnyh-korrespondency.html>. Доступ 25.02.2021.
3. Автоматизированная система мониторинга пассажиропотоков (АСМПП). [Электронный ресурс]: <https://transsensor.ru/catalog/datchiki-irma/asmpp-irma-basic-can>. Доступ 25.02.2021.
4. Infoteh PasCounter – готовое решение для автоматического подсчёта пассажиров. [Электронный ресурс]: <https://pascounter.infoteh.ru/>.
5. Лебедева О. А. Совершенствование методов мониторинга пассажиропотоков на маршрутах городского пассажирского транспорта общего пользования // Автореф. дис... канд. техн. наук. – Иркутск, 2014. [Электронный ресурс]: [https://www.istu.edu/docs/science/2014/gefence/lebedeva\\_ref.pdf](https://www.istu.edu/docs/science/2014/gefence/lebedeva_ref.pdf). Доступ 25.02.2021.
6. Намиот Д. Е., Некраплёная М. Н., Покусаев О. Н., Чекмарёв А. Е. Матрицы корреспонденций и анализ пассажиропотоков. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/matritsy-korrespondentsiy-i-analiz-passazhirskih-potokov/viewer>. Доступ 25.02.2021.
7. Yongzheng, Xu; Guizhen, Yu; Yunpeng, Wang; Xinkai, Wu; Yalong, Ma. A Hybrid Vehicle Detection Method Based on Viola-Jones and HOG + SVM from UAV Images. [Электронный ресурс]: <https://www.mdpi.com/1424-8220/16/8/1325/htm>. Доступ 25.02.2021.
8. Basic concepts of the homography explained with code. [Электронный ресурс]: [https://docs.opencv.org/master/d9/dab/tutorial\\_homography.html](https://docs.opencv.org/master/d9/dab/tutorial_homography.html). Доступ 25.02.2021.
9. Writing documentation for OpenCV. [Электронный ресурс]: [https://docs.opencv.org/master/d4/db1/tutorial\\_documentation.html](https://docs.opencv.org/master/d4/db1/tutorial_documentation.html). Доступ 25.02.2021.
10. Official English Documentation for ImageAI. [Электронный ресурс]: <https://imageai.readthedocs.io/en/latest/>. Доступ 25.02.2021.
11. Keras tutorial points (simply easy learning). [Электронный ресурс]: [https://www.tutorialspoint.com/keras/keras\\_tutorial.pdf](https://www.tutorialspoint.com/keras/keras_tutorial.pdf). Доступ 25.02.2021.



## Работоспособность базовых станций в цифровых сетях радиосвязи железнодорожного транспорта



Юрий НЕМЦОВ



Игорь СЕРЁГИН



Пётр ВОЛЬНОВ

*Юрий Владимирович Немцов<sup>1</sup>, Игорь Витальевич Серёгин<sup>2</sup>, Пётр Игоревич Вольнов<sup>3</sup>*

*<sup>1,2,3</sup> Российский университет транспорта, Москва, Россия.*

*✉ <sup>1</sup> [rut1408@mail.ru](mailto:rut1408@mail.ru).*

### АННОТАЦИЯ

Базовая станция (БС) является оконечным устройством сети радиосвязи, а радиосвязь на железнодорожном транспорте играет важную роль в обеспечении безопасности перевозок пассажиров и грузов.

Предлагается методика расчёта работоспособности базовых станций в цифровых сетях радиосвязи железнодорожного транспорта с целью рассчитать вероятности нахождения БС в определённых состояниях.

Произведена декомпозиция БС и выделены такие функциональные элементы, как пучки каналов связи, радиочастотный тракт и центральный модуль, обеспечивающий обмен информацией с элементами данной и других БС. Детально исследован каждый элемент, что повысило точность предлагаемой методики. В соответствии с Марковской моделью БС представлена как система, в которой учтены все возможные состояния. Построены мо-

дели для БС с двумя и тремя пучками каналов. Параметры каждого функционального элемента модели могут быть получены с помощью наблюдения в течение определённого периода времени. Решение системы уравнений для каждой из приведённых в статье моделей позволит получить значения нахождения системы в определённом состоянии. Полученные характеристики можно использовать для расчёта надёжности всей сети радиосвязи, а в итоге для оценки качества обслуживания абонентов этой сети.

Сделаны выводы о возможностях применения полученных моделей при проектировании новых и расчёте показателей качества существующих сетей связи железнодорожного транспорта. Предложенные модели могут применяться не только для сетей радиосвязи железнодорожного транспорта, но и для сетей подвижной связи коммерческих операторов.

**Ключевые слова:** цифровая сеть радиосвязи, телекоммуникационные системы железнодорожного транспорта, качество обслуживания вызовов, безопасность движения поездов.

**Для цитирования:** Немцов Ю. В., Серёгин И. В., Вольнов П. И. Работоспособность базовых станций в цифровых сетях радиосвязи железнодорожного транспорта // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 2 (93). С. 41–48. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-6>.

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

## ВВЕДЕНИЕ

Радиосвязь как один из видов связи нашла широкое применение на железнодорожном транспорте. Первоначально она использовалась только для обмена речевой информацией между подвижными и стационарными абонентами. С учётом развития высокоскоростного движения, а также стремительного роста телекоммуникационных и информационных технологий, появления новых поколений мобильной связи функциональность радиосвязи стала заметно увеличиваться. Сейчас она используется для передачи телеметрической информации, автоматического управления подвижным составом (автоведение), видео-конференц-связи. По радиоканалам строятся новейшие системы интервального регулирования движением поездов (радиоблокировка), которые приходят на смену рельсовым цепям. Такие системы позиционирования описаны в [1].

Известен ряд работ [2; 3], в которых рассмотрены вопросы выбора наилучшего стандарта и топологии цифровой сети радиосвязи железнодорожного транспорта. Немаловажной работой в области эффективного использования элементов сети связи следует считать [4], а результаты измерений некоторых характеристик представлены в отчёте ITU-R [5]. Также в некоторых странах набирает популярность применение новейших технологий подвижной связи (например, LTE и 5G), которые подробно описаны в [4; 6].

На сети железных дорог Российской Федерации цифровые сети поездной радиосвязи организуются на базе стандартов TETRA, GSM-R или DMR, при этом должна обеспечиваться вероятность связи по месту и времени не менее 95 %<sup>1</sup>, а значения коэффициента готовности сетей радиосвязи для высокоскоростного транспорта – на уровне не менее 99,95 % [7]. Поэтому в настоящее время вопросам стабильной и надёжной работы радиосвязи уделяется достаточное внимание. Они рассматриваются в [8; 9], а вопросы расчёта живучести цифровой сети радиосвязи описаны в [10].

При проектировании сети связи ставятся несколько задач: рассчитываются показатели

<sup>1</sup> ГОСТ Р 54959-2012. Железнодорожная электросвязь. Поездная радиосвязь. Технические требования и методы контроля. Дата введения: 1 апреля 2013 г. [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200095030>. Доступ 12.01.2021.

качества для каждого класса обслуживания абонентов при изменении нагрузки, структуры тяготения, пропускной способности каналов, а также при отказе компонентов сети; оцениваются загрузка оборудования и каналов связи, необходимость резервирования. Данные задачи решаются в результате моделирования и последующего системного анализа [11]. Предложенные в данном исследовании модели упростят нахождение некоторых характеристик сети связи.

*Целью* исследования является разработка методики расчёта работоспособности базовых станций в цифровых сетях радиосвязи железнодорожного транспорта и вероятности нахождения БС в определённых состояниях. Основным *методом* исследования являлось аналитическое моделирование, используемое в теории телетрафика при решении подобных задач.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Рассмотрим упрощённую схему цифровой сети радиосвязи железнодорожного транспорта на заданном участке железной дороги. Резервирование радиопокрытия отсутствует. Сеть радиосвязи содержит определённое количество базовых станций (БС), связанных между собой наземным каналом связи (рис. 1).

Схема соединения БС последовательная, так как согласно требованиям [5], они должны быть подключены к контроллеру БС (Base Station Controller, BSC) по принципу «пространственного кольца». Каждая антенна обслуживает определённый сектор соты. Все заявки на соединения от мобильных терминалов передаются от БС по каналам связи к BSC. Он подключает к работе требуемую БС, которая в свою очередь через канал радиосвязи подключает терминал вызываемого абонента. Радиопокрытие необходимой зоны обеспечивается через антенны каждого сектора.

Функциональная модель базовой станции цифровой сети радиосвязи представлена на рис. 2. Цифрами 1 и 2 обозначим радиочастотный тракт базовой станции (антенны, антенно-фидерные устройства и пр.) левого и правого секторов, цифрой 3 – модули коммутации, управления и соединений, обеспечивающие обмен информацией с другими базовыми станциями по пучкам каналов (цифры 4 и 5), а также взаимодействие с ра-

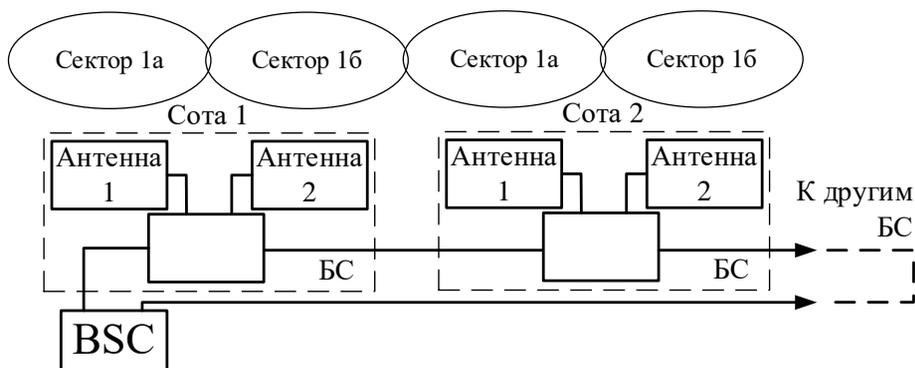


Рис. 1. Упрощённая схема цифровой сети радиосвязи железнодорожного транспорта (выполнена авторами).

диочастотным трактом. В дальнейшем для упрощения компонент 3 будем называть коммутатором.

Предлагается рассмотреть БС как систему с несколькими функциональными элементами. Для получения зависимостей нужных характеристик от всех параметров системы используют аналитическое моделирование, являющееся распространённым в теории телетрафика при решении подобных задач. Описание и примеры некоторых моделей приведены в [12], а решение подобных задач описано в [13], в том числе применительно к отрасли железнодорожного транспорта [14].

Для нашей функциональной модели БС (рис. 2) построим граф возможных переходов между состояниями работоспособности (рис. 3). Зададим обозначениями  $\lambda$  интенсивность потока отказов каждого элемента модели,  $\mu$  – интенсивность потока восстановления,  $P_i$  – вероятность нахождения системы в состоянии  $i = \overline{[0, 10]}$ .

Схема функционирования модели позволяет выделить десять дискретных состояний, в которых может находиться система:

0 – оба сектора базовой станции работоспособны, все пучки каналов исправны, коммутация выполняется;

1 – оба сектора базовой станции работоспособны, один из пучков каналов неисправен, коммутация выполняется;

2 – оба сектора базовой станции работоспособны, оба пучка каналов неисправны, коммутация выполняется;

3 – только один из секторов базовой станции работоспособен, все пучки каналов исправны, коммутация выполняется;

4 – только один из секторов базовой станции работоспособен, один из пучков каналов неисправен, коммутация выполняется;

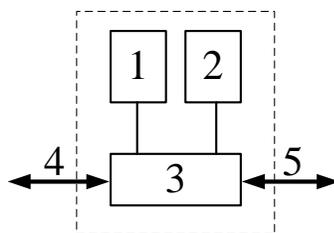


Рис. 2. Функциональная модель базовой станции с двумя секторами, двумя пучками каналов и коммутатором (выполнена авторами).

5 – только один из секторов базовой станции работоспособен, оба пучка каналов неисправны, коммутация выполняется;

6 – оба сектора базовой станции неработоспособны, все пучки каналов исправны, коммутация выполняется;

7 – оба сектора базовой станции неработоспособны, один из пучков каналов неисправен, коммутация выполняется;

8 – оба сектора базовой станции неработоспособны, оба пучка каналов неисправны, коммутация выполняется;

9 – оба сектора базовой станции работоспособны, все пучки каналов исправны, коммутация не выполняется;

10 – оба сектора базовой станции неработоспособны, все пучки каналов неисправны, коммутация не выполняется.

Состояние 0 свидетельствует о полной работоспособности системы. Состояния 1, 3 и 4 свидетельствуют о том, что базовая станция получила серьёзные повреждения, но функционирует по назначению с ухудшением качества обслуживания. При состояниях 2, 5–9 система считается неработоспособной даже при функционировании её отдельных компонентов. Конечное состояние 10 свидетельствует о полном отказе компонентов базовой станции.



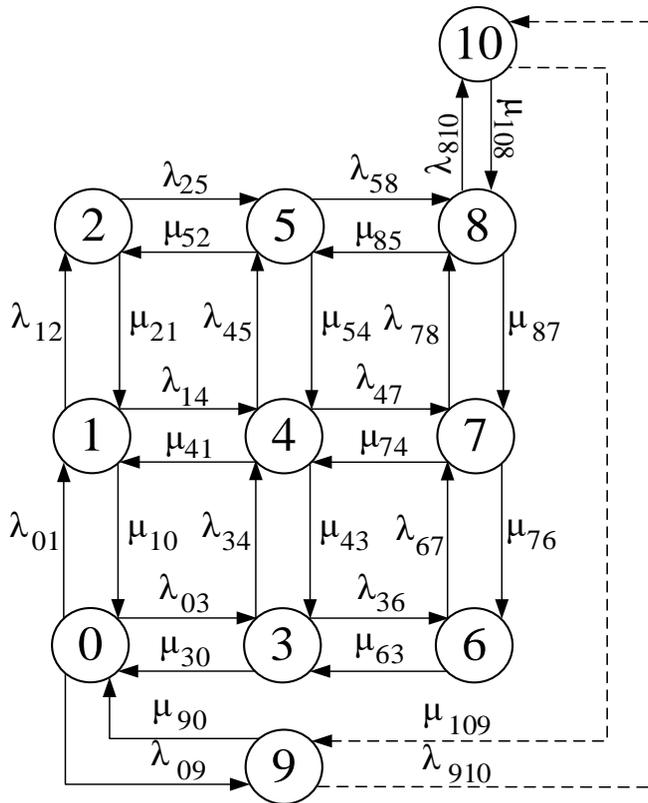


Рис. 3. Граф состояний модели работоспособности базовой станции с двумя секторами, двумя пучками каналов и коммутатором (выполнен авторами).

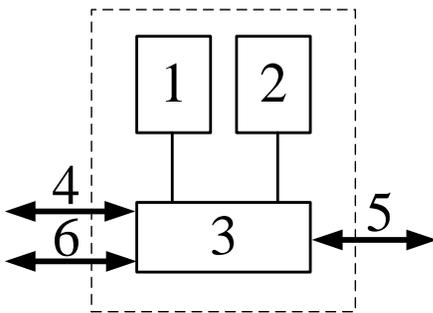


Рис. 4. Функциональная модель базовой станции с двумя секторами, тремя пучками каналов и коммутатором (выполнена авторами).

Составим систему уравнений по следующим правилам: слева от знака равенства стоит вероятность нахождения базовой станции в состоянии  $P_i$ , а справа в уравнении стоит сумма произведений вероятностей всех переходов, входящих (входящие стрелки на рис. 3) в состояние  $i$  системы, на интенсивности состояний, из которых эти потоки исходят, минус вероятность рассматриваемого состояния  $i$ , умноженная на суммарную интенсивность переходов, выходящих (выходящие стрелки на рис. 3) из данного состояния  $i$

систему. Для решения подобной системы необходимо добавить ещё одно уравнение, определяющее нормировочное условие, поскольку сумма вероятностей всех состояний равна единице.

Запишем систему уравнений равновесия согласно графу:

$$\begin{aligned}
 P_0(\lambda_{01} + \lambda_{03} + \lambda_{09}) &= P_1\mu_{10} + P_3\mu_{30} + P_9\mu_{90}; \\
 P_1(\mu_{10} + \lambda_{12} + \lambda_{14}) &= P_0\lambda_{01} + P_2\mu_{21} + P_4\mu_{41}; \\
 P_2(\mu_{21} + \lambda_{25}) &= P_1\lambda_{12} + P_5\mu_{52}; \\
 P_3(\lambda_{36} + \mu_{30} + \lambda_{34}) &= P_6\mu_{63} + P_0\lambda_{03} + P_4\mu_{43}; \\
 P_4(\mu_{41} + \lambda_{45} + \lambda_{47} + \mu_{43}) &= P_1\lambda_{14} + P_5\mu_{54} + P_7\mu_{74} + P_3\lambda_{34}; \\
 P_5(\mu_{54} + \mu_{52} + \lambda_{58}) &= P_4\lambda_{45} + P_2\lambda_{25} + P_8\mu_{85}; \\
 P_6(\mu_{63} + \lambda_{67}) &= P_3\lambda_{36} + P_7\mu_{76}; \\
 P_7(\mu_{76} + \lambda_{78} + \mu_{74}) &= P_6\lambda_{67} + P_8\mu_{87} + P_4\lambda_{47}; \\
 P_8(\mu_{85} + \mu_{87} + \lambda_{810}) &= P_5\lambda_{58} + P_7\lambda_{78} + P_{10}\mu_{108}; \\
 P_9(\mu_{90} + \lambda_{910}) &= P_0\lambda_{09} + P_{10}\mu_{109}; \\
 P_{10}(\mu_{109} + \mu_{108}) &= P_9\lambda_{910} + P_8\lambda_{810}.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Укажем нормирующее условие:

$$\sum_{i=0}^{10} P_i = 1.$$

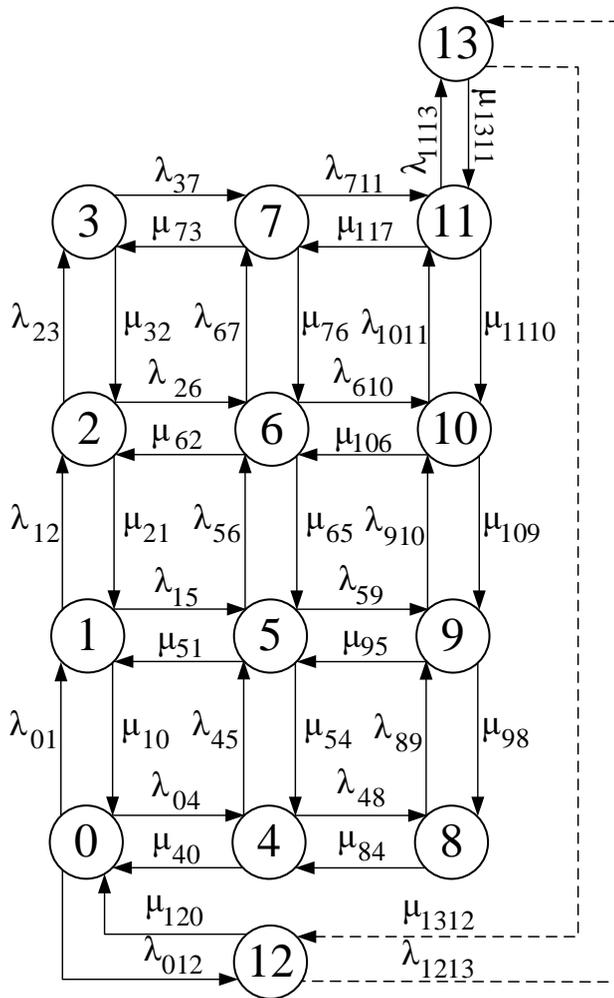


Рис. 5. Граф состояний модели работоспособности базовой станции с двумя секторами, тремя пучками каналов и коммутатором (выполнен авторами).

Зададим следующие числовые значения параметров модели – интенсивностей отказов и восстановления:  $\lambda_{01} = 0,009 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{12} = 0,008 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{25} = 1 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{58} = 1 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{78} = 1,89 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{67} = 1,29 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{36} = 0,0011 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{03} = 0,011 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{34} = 0,9 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{14} = 0,115 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{45} = 0,205 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{47} = 0,145 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{09} = 0,0019 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{910} = 0,01 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{810} = 0,122 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{10} = 9,99 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{21} = 9,77 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{52} = 2,63 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{85} = 3,45 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{87} = 2,21 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{76} = 1,01 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{63} = 4,56 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{30} = 9,99 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{43} = 4 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{41} = 9 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{54} = 1,01 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{74} = 5 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{90} = 9,89 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{109} = 1,11 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{108} = 2 \cdot 10^{-6}$ . Выбор параметров модели обусловлен достижением максимального значения вероятности работоспособного состояния БС (состояние 0).

Далее производится расчёт полученной системы уравнений итерационным методом Гаусса–Зейделя.

Полученные значения представлены ниже:

$P_0 = 0,98623$ ;  $P_1 = 0,00496$ ;  $P_2 = 0,00066$ ;  $P_3 = 0,00663$ ;  $P_4 = 0,00445$ ;  $P_5 = 0,00270$ ;  $P_6 = 0,00019$ ;  $P_7 = 0,00107$ ;  $P_8 = 0,00079$ ;  $P_9 = 0,00189$ ;  $P_{10} = 0,00037$ .

Таким образом, вероятность работоспособности всех компонентов базовой станции составит  $P_0 = 0,98623$ . Вероятность работоспособности базовой станции с ухудшением качества обслуживания составит  $P_1 + P_3 + P_4 = 0,01159$ . Вероятность невыполнения базовой станцией своих функций составит  $P_2 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 + P_9 = 0,00733$ , а самый неблагоприятный исход возможен с вероятностью  $P_{10} = 0,00037$ .

Далее рассмотрим функциональную модель БС цифровой сети радиосвязи иного типа, модель которой представлена на рис. 4. В этой модели задействованы три пучка ка-



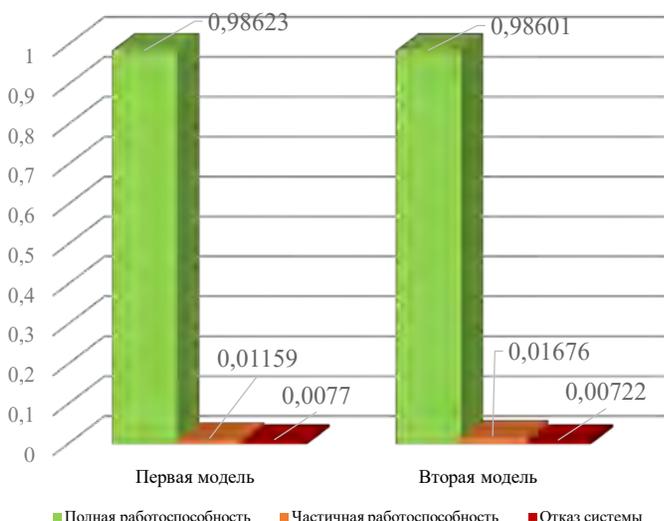


Рис. 6. Диаграмма работоспособности БС (выполнена авторами по результатам предложенного расчёта).

налов связи, которые обозначены цифрами 4–6.

Построим новый граф возможных переходов между состояниями работоспособности БС (рис. 5).

В этой модели выделим 13 дискретных состояний:

0 – оба сектора базовой станции работоспособны, все пучки каналов исправны, коммутация выполняется;

1 – оба сектора базовой станции работоспособны, один из пучков каналов неисправен, коммутация выполняется;

2 – оба сектора базовой станции работоспособны, оба пучка каналов неисправны, коммутация выполняется;

3 – оба сектора базовой станции работоспособны, все пучки каналов неисправны, коммутация выполняется;

4 – только один из секторов базовой станции работоспособен, все пучки каналов исправны, коммутация выполняется;

5 – только один из секторов базовой станции работоспособен, один из пучков каналов неисправен, коммутация выполняется;

6 – только один из секторов базовой станции работоспособен, оба пучка каналов неисправны, коммутация выполняется;

7 – только один из секторов базовой станции работоспособен, все пучки каналов неисправны, коммутация выполняется;

8 – оба сектора базовой станции неработоспособны, все пучки каналов исправны, коммутация выполняется;

9 – оба сектора базовой станции неработоспособны, один из пучков каналов неисправен, коммутация выполняется;

10 – оба сектора базовой станции неработоспособны, оба пучка каналов неисправны, коммутация выполняется;

11 – оба сектора базовой станции неработоспособны, все пучки каналов неисправны, коммутация выполняется;

12 – оба сектора базовой станции работоспособны, все пучки каналов исправны, коммутация не выполняется;

13 – оба сектора базовой станции неработоспособны, все пучки каналов неисправны, коммутация не выполняется.

Состояние 0 свидетельствует о полной работоспособности системы. Состояния 1, 2, 4, 5 и 6 свидетельствуют о том, что в БС произошёл значительный отказ её компонентов, но она функционирует по назначению с ухудшением качества обслуживания. При состояниях 3, 7–12 система считается неработоспособной даже при функционировании её отдельных компонентов. Конечное состояние 13 свидетельствует о полном отказе компонентов базовой станции.

Для новой модели система уравнений будет выглядеть следующим образом:

$$P_0(\lambda_{01} + \lambda_{012} + \lambda_{04}) = P_1\mu_{10} + P_{12}\mu_{120} + P_4\mu_{40};$$

$$P_1(\mu_{10} + \lambda_{12} + \lambda_{15}) = P_0\lambda_{01} + P_2\mu_{21} + P_3\mu_{31};$$

$$P_2(\mu_{21} + \lambda_{26} + \lambda_{23}) = P_1\lambda_{12} + P_6\mu_{62} + P_3\mu_{32};$$

$$P_3(\lambda_{37} + \mu_{32}) = P_7\mu_{73} + P_2\lambda_{23};$$

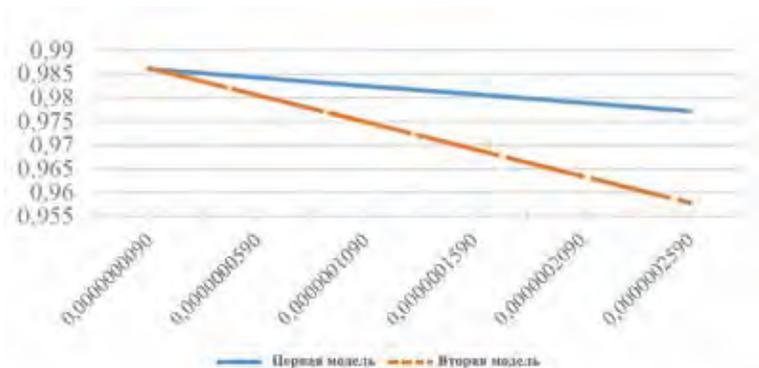


Рис. 7. График зависимости  $P_0 = f(\lambda_{0j})$  (выполнен авторами по результатам предложенного расчёта).

$$\begin{aligned}
 P_4(\mu_{40} + \lambda_{45} + \lambda_{48}) &= P_0 \lambda_{04} + P_3 \mu_{54} + P_8 \mu_{84}; \\
 P_5(\mu_{54} + \mu_{51} + \lambda_{56} + \lambda_{59}) &= P_4 \lambda_{45} + P_1 \lambda_{15} + P_6 \mu_{65} + P_9 \mu_{95}; \\
 P_6(\mu_{65} + \mu_{62} + \lambda_{67} + \lambda_{610}) &= P_5 \lambda_{56} + P_2 \lambda_{26} + P_7 \mu_{76} + P_{10} \mu_{106}; \\
 P_7(\mu_{76} + \lambda_{711} + \mu_{73}) &= P_6 \lambda_{67} + P_{11} \mu_{117} + P_3 \lambda_{37}; \\
 P_8(\mu_{84} + \lambda_{89}) &= P_4 \lambda_{48} + P_9 \mu_{98}; \\
 P_9(\mu_{98} + \mu_{95} + \lambda_{910}) &= P_8 \lambda_{89} + P_5 \lambda_{59} + P_{10} \mu_{109}; \\
 P_{10}(\mu_{109} + \mu_{106} + \lambda_{1011}) &= P_9 \lambda_{910} + P_6 \lambda_{610} + P_{11} \mu_{1110}; \\
 P_{11}(\mu_{1110} + \mu_{117} + \lambda_{1113}) &= P_{10} \lambda_{1011} + P_7 \lambda_{711} + P_{13} \mu_{1311}; \\
 P_{12}(\mu_{120} + \lambda_{1213}) &= P_0 \lambda_{012} + P_{13} \mu_{1312}; \\
 P_{13}(\mu_{1311} + \mu_{1312}) &= P_{11} \lambda_{1113} + P_{12} \lambda_{1213}; \\
 \sum_{i=0}^{14} P_i &= 1.
 \end{aligned} \tag{2}$$

Для модели с тремя пучками каналов зададим следующие значения интенсивностей отказов и восстановления, которые практически не отличаются от параметров модели с двумя пучками каналов:  $\lambda_{01} = 0,009 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{12} = 0,008 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{37} = 1,5 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{711} = 1,11 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{1113} = 0,111 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{67} = 1,29 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{1011} = 1,11 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{23} = 1,24 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{89} = 2,14 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{48} = 1,11 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{45} = 0,205 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{04} = 0,011 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{15} = 1,67 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{910} = 0,01 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{59} = 1,222 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{56} = 1,246 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{26} = 2,456 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{012} = 0,01 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{1213} = 0,111 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{610} = 2 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{10} = 9,99 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{21} = 9,77 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{73} = 2,12 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{117} = 0,1 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{1311} = 5,55 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{76} = 1,01 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{1110} = 8,76 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{32} = 1,11 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{98} = 1,234 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{84} = 9,99 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{54} = 1,01 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{40} = 99 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{51} = 1,5464 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{109} = 1,11 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{95} = 2,1453 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{65} = 8,76 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{120} = 9,99 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{1312} = 900 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{106} = 5,67 \cdot 10^{-6}$ .

Полученные значения представлены ниже:

$$\begin{aligned}
 P_0 &= 0,98601; P_1 = 0,00875; P_2 = 0,00414; \\
 P_3 &= 0,00311; P_4 = 0,00032; P_5 = 0,00213095; \\
 P_6 &= 0,00140; P_7 = 0,00119; P_8 = 0,00013; P_9 = \\
 &= 0,00105; P_{10} = 0,00053696; P_{11} = 0,00017; P_{12} = \\
 &= 0,00098; P_{13} = 0,00002;
 \end{aligned}$$

Таким образом, вероятность работоспособности всех компонентов базовой станции составит  $P_0 = 0,98601$ . Вероятность работоспособности базовой станции с ухудшением качества обслуживания составит  $P_1 + P_2 + P_4 + P_5 + P_6 = 0,01676$ . Вероятность невыполнения базовой станцией своих функций составит  $P_3 + P_7 + P_8 + P_9 + P_{10} + P_{11} + P_{12} = 0,0072$ , а самый неблагоприятный исход возможен с вероятностью  $P_{13} = 0,00002$ .

Далее выполним сравнение полученных результатов. Вероятности работоспособности каждой модели изображены на диаграмме (рис. 6). В полученных результатах допускаем погрешность, присущую итерационным методам решения системы уравнений.

Теперь рассмотрим, как будет изменяться полная работоспособность БС с изменением интенсивности потока отказов  $\lambda_{01}$ . Полученные результаты для каждой модели представлены на рис. 7.

На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- модель с 3 пучками каналов менее надёжна с разницей в 0,02 %;
- вероятность частичной работоспособности БС больше во второй модели;
- вероятность полного отказа БС во второй модели меньше, чем в первой модели;
- при увеличении интенсивности потока отказов  $\lambda_{01}$  в 2 раза полная работоспособность БС для первой модели снижается примерно на 0,18 %, а для второй модели на 0,05 %. Из этого делаем вывод, что наличие третьего пучка каналов снижает вероятность невыполнения БС своих функций.

Также можно предположить, что при радиопокрытии соседних сот вероятность работоспособности всей цифровой сети радиосвязи будет увеличена.





## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанные модели имеют практическую ценность и могут применяться при проектировании цифровых сетей радиосвязи железнодорожного транспорта, а также при вычислении характеристик качества действующей сети. Для повышения точности расчётов полученные значения полной или частичной работоспособности можно использовать совместно с первой формулой Эрланга, определяющей вероятность блокировки вызовов при заданной удельной нагрузке и числе каналов. Произведение двух вероятностей и будет представлять конечный результат.

При использовании различных архитектур сетей стандарта GSM-R, описанных в рекомендациях [5], полученные характеристики работоспособности БС предполагается использовать в расчёте структурной надёжности сети связи. Изменяя параметры разработанной модели, возможно подобрать такую архитектуру, которая будет оптимальной по затратам и обеспечит заданную работоспособность цифровой сети радиосвязи.

В целом можно предположить, что вследствие новых технологий и высоких скоростей, описанных в [15; 16], будут появляться новые архитектуры сетей связи железнодорожного транспорта и методики расчёта их работоспособности.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Elbahhar Boukour, F., Heddebaut, M. Advanced Train Positioning/Communication System. Modern Railway Engineering, March 2018. DOI: 10.5772/intechopen.71768.
2. He, Rui; Ai, Bo; Wang, Gongpu; Guan, Ke; Zhong, Z.; Molisch, A.; Briso-Rodríguez, C.; Oestges, C. High-Speed Railway Communications: From GSM-R to LTE-R. IEEE Vehicular Technology Magazine, 2016, Vol. 11, pp. 49–58. DOI: 10.1109/MVT.2016.2564446.
3. Sniady, A. Communication Technologies Support to Railway Infrastructure and Operations. Ph.D. Thesis/Technical University of Denmark, 2015. DOI: 10.11581/DTU:00000010.
4. Xu, Shengfeng; Zhu, Gang; Ai, Bo; Zhong, Zhangdui. A Survey on High-Speed Railway Communications: A Radio Resource Management Perspective. Computer Communications, 2016, Vol. 86. DOI: 10.1016/j.comcom.2016.04.003.

5. Report ITU-R M.2395-0 (11/2016). Introduction to railway communication systems. [Электронный ресурс]: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2395-2016-PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2395-2016-PDF-E.pdf). Доступ 12.01.2021.

6. Sniady, A., Soler, J. LTE for railways: Impact on performance of ETCS railway signaling. Vehicular Technology Magazine, IEEE, 2014, Vol. 9, Iss. 2, pp. 69–77. DOI: 10.1109/MVT.2014.2310572.

7. Сафонова И. Е., Казанский Н. А., Немцов Ю. В., Панькина К. Е. Применение технологии 5G на примере гетерогенной сети. // Бюллетень результатов научных исследований. – 2019. – № 10. – С. 18–21. DOI 10.34649/AT.2019.10.10.002.

8. Роенков Д. Н., Шматченко В. В., Плеханов П. А. Системы радиосвязи высокоскоростного железнодорожного транспорта // Бюллетень результатов научных исследований. – 2017. – С. 57–68. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemy-radiosvyazi-vysokoskorostnogo-zheleznodorozhnogo-transporta/pdf>. Доступ 12.01.2021.

9. Шнепп-Шнеппе М. А., Куприяновский В. П. Мобильная сеть GSM-R – основа цифровой железной дороги // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2016. – Т. 12. – № 1. – С. 222–231. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/mobilnaya-set-gsm-r-osnova-tsifrovoy-zheleznoy-dorogi/pdf>. Доступ 12.01.2021.

10. Казанский Н. А., Немцов Ю. В. Модели расчёта живучести сетей мобильной связи в условиях чрезвычайных ситуаций на транспорте // Информатизация и связь. – 2018. – № 2. – С. 17–20. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-vychisleniya-zhivuchesti-setey-mobilnoy-svyazi-na-transporte-pri-otkaze-bazovyh-stantsiy/pdf>. Доступ 12.01.2021.

11. Дымарский Я. С., Крутякова Н. П., Яновский Г. Г. Управление сетями связи: принципы, протоколы, прикладные задачи. – М.: ИТЦ «Мобильные коммуникации», 2003. – 384 с. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19580168>. Доступ 12.01.2021.

12. Слабнов В. Д. Численные методы: Учебник. – СПб.: Лань, 2020. – 392 с. [Электронный ресурс]: <https://mirlib.ru/knigi/programming/463498-chislennyye-metody-2020.html>. Доступ 12.01.2021.

13. Крылов В. В., Самохвалова С. С. Теория телеграфика и её приложения. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 288 с. [Электронный ресурс]: <https://bookree.org/reader?file=596396>.

14. Irazábal González, J. Numerical modelling of railway ballast using the discrete element method. Thesis for: Master's degree in Numerical Methods in Engineering, 2015. DOI: 10.13140/RG.2.2.20125.31200.

15. Ai, Bo; Cheng, Xiang; Kümer, T.; Zhong, Zhang-Dui; Guan, Ke; He, Rui; Xiong, Lei; Matolak, D.; Michelson, D. G.; Briso-Rodríguez, C. Challenges Toward Wireless Communications for High-Speed Railway. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2014, Vol. 15, No. 5, pp. 2143–2158. DOI: 10.1109/TITS.2014.2310771.

16. Zhou, Yuzhe; Ai, Bo. Handover Schemes and Algorithms of High-speed Mobile Environment: a Survey. Computer Communications, 2014, Vol. 47, pp. 1–15. DOI: 10.1016/j.comcom.2014.04.005.

### Информация об авторах:

**Немцов Юрий Владимирович** – аспирант кафедры менеджмента качества Российского университета транспорта, Москва, Россия, [rut1408@mail.ru](mailto:rut1408@mail.ru).

**Серёгин Игорь Витальевич** – аспирант кафедры управления эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте Российского университета транспорта, Москва, Россия, [ivs-97@mail.ru](mailto:ivs-97@mail.ru).

**Вольнов Петр Игоревич** – аспирант кафедры железнодорожных станций и транспортных узлов Российского университета транспорта, Москва, Россия, [volnovpetr1840@gmail.com](mailto:volnovpetr1840@gmail.com).

Статья поступила в редакцию 26.05.2020, актуализирована 12.01.2021, одобрена после рецензирования 21.04.2021, принята к публикации 23.04.2021.

# Т



## УСТОЙЧИВОЕ УПРАВЛЕНИЕ 50

*Классификация объектов и устойчивость цепи поставок. Эффективное взаимодействие поставщиков и потребителей.*



## ГРУЗОПЕРЕВОЗКИ 57

*Документальное сопровождение и цифровой документооборот.*

## ЭКОНОМИКА



## УПРАВЛЕНИЕ ЗАПАСАМИ 64

*Решения логистической задачи в условиях случайного времени задержки и случайного спроса.*





# Классификация объектов управления цепями поставок с целью обеспечения их устойчивости



Евгения ТАРАСЕНКО

*Евгения Алексеевна Тарасенко<sup>1, 2</sup>*

<sup>1</sup> Институт экономики Уральского отделения Российской академии наук, Оренбург, Россия.

<sup>2</sup> Самарский государственный университет путей сообщения, Оренбург, Россия.

✉ [t\\_e\\_a\\_t@mail.ru](mailto:t_e_a_t@mail.ru).

## АННОТАЦИЯ

Классификация объектов управления цепями поставок создаёт основу для управления их устойчивостью. Предложена иерархия приоритетов объектов управления – систем, процессов и отношений, предполагающая создание адекватных антикризисных мер оперативного управления потоками ресурсов.

Целями исследования являются уточнение и дополнение классификаций объектов управления цепями поставок на основе их качественных признаков, решаемые задачи предполагают выявление проблем классификации объектов управления цепями поставок, определение предпосылок и определение способов решения данных проблем.

Методологической базой исследования являются положения логистики как науки об управлении потоками ресурсов и управления цепями поставок, системами и процессами

создания и доставки ценностей конечным потребителям продукции и/или услуг.

На основе логико-структурных методов и инструментов бинарных матриц разработаны классификации потоков первого («А») и второго («Б») уровней, создающие основу для использования кодов данных потоков с указанием типов систем и процессов, обеспечивающих их устойчивость; предложена иерархия приоритетов объектов управления, в зависимости от которой реализуются антикризисные меры оперативного управления потоками ресурсов. Результаты исследования позволяют устранить противоречия между целями звеньев цепей поставок (поставщиков) и целей требований (потребителей) и на этой основе организовать их эффективное взаимодействие.

Ключевые слова: поток, интегрированный поток, устойчивость потока, процесс, цель поставок, ценность.

---

Для цитирования: Тарасенко Е. А. Классификация объектов управления цепями поставок с целью обеспечения их устойчивости // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 2 (93). С. 50–56. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-7>.

---

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

## ВВЕДЕНИЕ

Термин «цепь поставок» относится к терминам, сущность и содержание которых до сих пор остаются не вполне ясными. С одной стороны, цепь поставок определяется как «группа взаимосвязанных участвующих компаний, которые добавляют ценность к потоку преобразованных входных данных от их источника происхождения до конечных продуктов или услуг, востребованных назначенными конечными потребителями» [1]. С другой стороны, цепь поставок – это «сложная сеть взаимоотношений, которую организации поддерживают с торговыми партнерами для получения, производства и поставки продукции. Она охватывает все виды деятельности, связанные с перемещением и преобразованием товаров и услуг от места происхождения до конечного потребителя, а также связанные с этим информационные и финансовые потоки» [2]. Неоднозначное толкование термина «цепи поставок» накладывает серьезные ограничения на теорию и методологию устойчивого управления цепями поставок (Sustainable supply chain management, далее – SSCM).

Целью исследования является уточнение и дополнение классификаций объектов управления цепями поставок, таких как потоки, предприятия, отношения между ними и процессы на основе их качественных признаков, формируемых на основе компонентов комплекса логистики, к числу которых относятся качество, количество, затраты, время, территория и траектория. Достижение поставленных целей обеспечивается за счёт бинарных матриц, формируемых на основе совокупности актуальных качественных признаков и их дихотомий – двух противоположных состояний данных признаков.

Это позволяет уточнить содержание системы управления компонентами управления цепями поставок на основе системного подхода, а также создать необходимые теоретические предпосылки для повышения её эффективности на высоко конкурентных рынках.

Методологическую базу исследования составляют логико-структурные методы, такие как анализ и синтез, индукция и дедукция, группировка, типология и классификация, а в качестве инструмента исследования использованы бинарные матрицы, что позволяет однозначно охарактеризовать объекты управления цепями поставок.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Уточнение и дополнение классификаций объектов управления цепями поставок

Весьма существенным аспектом, способствующим достижению цели исследования, является определение SSCM как «управления материальными, информационными и капитальными потоками, а также сотрудничества между компаниями по всей цепочке поставок с учётом целей... трёх измерений устойчивого развития, то есть экономических, экологических и социальных факторов, учитывающих требования клиентов и заинтересованных сторон» [3].

В приведённом выше определении используется термин – «поток», который, по мнению ряда авторов, является объектом исследования логистики [4].

Таким образом, классификация объектов управления цепями поставок может быть использована для обеспечения устойчивости потоков ресурсов.

Специфика управления устойчивостью потоков ресурсов определяется их типом. Предложены различные классификации потоков [5–9]. Тем не менее, в рамках управления устойчивостью целесообразно уточнить эти классификации, используя следующие качественные признаки:

- тип объекта потока ресурсов: вещественный; не вещественный;
- факторы деятельности звеньев цепи поставок: экономические, управленческие.

Данные признаки классификации (тип «А») позволяют выделить четыре типа потоков ресурсов: материальные, информационные, финансовые и людские. Использование людских потоков в качестве потоков (рис. 1) обусловлено мнением А. Хэли и А. Гийона (A. Halley, A. Guilhon [10]), что «логистика основана на устойчивом управлении человеческими ресурсами».

Если представить процесс формирования структуры интегрированного потока как последовательное объединение потоков одного уровня (струй), то на основе четырёх выделенных выше видов потоков можно получить 16 вариантов интегрированного потока (табл. 1).

Как следует из табл. 1, на основе потоков четвёртого уровня с шифрами 0001, 0010, 0100, и 1000 можно получить шесть потоков третьего уровня, четыре потока второго уровня и один поток первого уровня (интегрированный поток). Последовательность и варианты



## Классификация вариантов интегрированного потока ресурсов (разработано автором)

Материальный поток (не учитывается – 0, учитывается – 1)	Информационный поток (не учитывается – 0, учитывается – 1)	Финансовый поток (не учитывается – 0, учитывается – 1)	Людской Поток (не учитывается – 0, учитывается – 1)	Шифр потока ресурсов
0	0	0	0	0000
0	0	0	1	0001
0	0	1	0	0010
0	0	1	1	0011
0	1	0	0	0100
0	1	0	1	0101
0	1	1	0	0110
0	1	1	1	0111
1	0	0	0	1000
1	0	0	1	1001
1	0	1	0	1010
1	0	1	1	1011
1	1	0	0	1100
1	1	0	1	1101
1	1	1	0	1110
1	1	1	1	1111

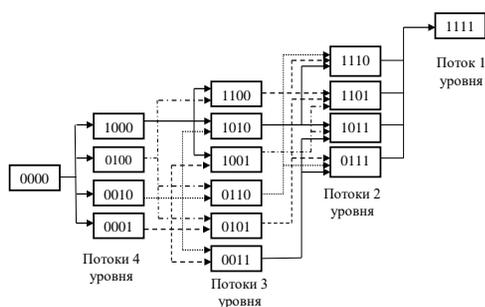


Рис. 1. Последовательность и варианты формирования интегрированного потока ресурсов (разработано автором).

формирования интегрированного потока представлены на рис. 1. Формирование интегрированного потока может происходить параллельно, минуя тот или иной уровень [11]. Потоки низшего уровня по отношению к потокам высшего уровня целесообразно рассматривать в качестве струй. При управлении потоками ресурсов каждая из струй характеризуется уровнем устойчивости, который под воздействием внутренней и внешней среды может меняться, что предполагает установление и мониторинг приоритетов управления теми или иными струями потоков ресурсов. Приоритеты струй потоков предполагают их классификацию типа «Б» с использованием признаков: отношение потока к ценности конечного потребителя (создание, сопровождение); тип звена, формирующего поток (поглощающее звено, генерирующее звено); влияние

потока на качество ценности (определяющее, второстепенное) (табл. 2).

Данные табл. 1 и 2 создают предпосылки для создания кодов потоков ресурсов, которые удобно использовать с помощью компьютерного обеспечения в рамках цифровизации управления цепями поставок. Так, например, код «1100–010» означает вспомогательный интегрированный поток (третьего уровня), в составе которого находятся материальный и информационный потоки (струи). Для детального представления о типах потоков (табл. 2) была разработана табл. 3, конкретизирующая их типы на примере «ценности чистой одежды для конечного потребителя».

Определим данные параметры и характеристики потока на примере потока материальных ресурсов.

В первую очередь нужно установить объекты потока данного типа на основе следующих классификационных признаков: назначение объекта потока (поддержание ценности, доставка ценности); отношение объекта потока к ценности (создание, сопровождение). Можно выделить следующие объекты материального потока: продукты (носители ценности), тара (упаковка), транспортное средство и погрузочно-разгрузочные устройства.

Основываясь на современных работах, развивающих направления микс-маркетинга, основы которого были заложены в работах Э. Дж. Маккарти, посвященных модели 4Р [12],

Таблица 2

## Классификация «Б» потоков ресурсов (разработана автором)

Отношение потока к ценности конечного потребителя (создание – 0, сопровождение – 1)	Тип звена, формирующего поток (поглощающее звено – 0, генерирующее звено – 1)	Влияние потока на качество ценности (определяющее – 0, второстепенное – 1)	Тип потока
0	0	0	Основной
0	0	1	Дополнительный
0	1	0	Вспомогательный
0	1	1	Косвенный
1	0	0	Сопутствующий
1	0	1	Побочный
1	1	0	Поддерживающий
1	1	1	Подсобный

Таблица 3

## Компоненты потока с кодом «1100–010» на примере «Ценности чистой одежды для конечного потребителя» (разработано автором)

Тип потока	Пример объекта	
	Материальный поток	Информационный поток
Основной	Стиральная машина	Инструкция по эксплуатации
Дополнительный	Шланги для воды и её слива в канализацию	Рекомендации по установке шлангов для воды
Вспомогательный	Транспортное средство для перемещения стиральной машины и стирального порошка к месту их продажи	Информация о месте расположения покупателя стиральной машины и стирального порошка
Косвенный	Погрузочно-разгрузочные устройства производителя и потребителя	Инструкция по технике безопасности при эксплуатации погрузочно-разгрузочных устройств
Сопутствующий	Стиральный порошок	Сведения о расходе стирального порошка
Побочный	Посуда-дозатор для стирального порошка	Данные о ценах на посуду-дозатор для стирального порошка
Поддерживающий	Топливо- и горюче-смазочные материалы для транспортного средства и погрузочно-разгрузочных устройств	Нормативы расхода топлива для транспортного средства и погрузочно-разгрузочных устройств
Подсобный	Чалочные приспособления	Информация о предельной грузоподъёмности и проверке чалочных приспособлений

можно выявить ряд укрупнённых количественных параметров потоков (табл. 4).

Как видно из табл. 4, помимо параметров «количество», «качество», «затраты» и «время», предлагается использовать параметры «траектория» и «территория». Нетрудно заметить, что данные параметры конкретизируют компонент комплекса маркетинга «место» [13]. Параметр «траектория» используется при управлении на его основе «... для обобщения, обновления и воплощения в жизнь описания транспортных процессов на всех этапах стратегической и тактической координации и эксплуатации» [14]. Параметр «территория» предполагает ориентацию на экономически обоснованные границы деятельности звена цепи поставок. Например, когда рост объёмов

продаж продукции и/или услуг сдерживается увеличением транспортных расходов на их доставку конечному потребителю [14].

### Управление устойчивостью

Управление устойчивостью потока обеспечивают предприятия – звенья цепи поставок. Данные звенья образуют системы разной конфигурации в зависимости от требований конечных потребителей. Тип звеньев и места их географической дислокации формируют траектории, по которым перемещаются ресурсы. Классификация звеньев цепи поставок, основанная на таких классификационных признаках, как задачи звеньев цепи поставок (создание и сопровождение ценности), приоритетный вид товара (продукт, услуга),



**Таблица 4**  
**Количественные параметры объектов**  
**материального потока**  
**(разработано автором)**

Параметры объекта материального потока	Объект материального потока			
	Продукты (носители ценности)	Тара, упаковка	Транспортное средство	Погрузочно-разгрузочное устройство
Количество	+	+	+	+
Качество	+	+	+	+
Затраты	+	+	+	+
Время	+	+	+	+
Траектория	+	+	+	+
Территория	+			

позволяет выделить технологические, торговые, логистические звенья и звенья инфраструктуры [15].

Движение потоков ресурсов обеспечивается процессами (операциями), которые также можно оценить с позиции их устойчивости и влияния на управление потоками ресурсов. Данные процессы можно выделить, используя классификационные признаки: состояние объектов потока ресурсов (покой и перемещение); стабильность параметров потока ресурсов (не меняются и меняются). На основе этих признаков формируются следующие процессы управления потоками ресурсов: транспортировка, хранение, комплектация, а также консолидация/разукрупнение. В ряде случаев целесообразно от процессов (рис. 5) переходить к операциям. Если использовать такие классификационные признаки, как место расположения продукта (вне зоны хранения (транспортного средства) и в зоне хранения (в транспортном средстве)); тип объекта потока (продукт и погрузочно-разгрузочное устройство), можно выделить операции, связывающие хранение и транспортировку продуктов: расконсервацию/консервацию, складирование (маневрирование), монтаж/демонтаж и ожидание.

Совокупность выделенных выше процессов и операций позволяет сделать следующие выводы. Во внимание принимаются только логистические процессы (операции). В случае необходимости к ним могут быть добавлены технологические и иные виды процессов (операций). Оценка управления устойчивостью потока должна осуществляться на временном интервале, предполагающем выполнение цепями поставок ряда процессов.

Если в качестве основы взять складскую форму движения ресурсов по схеме «транспортировка – хранение – транспортировка», то можно сформировать последовательность процессов (операций) управления потоками ресурсов (рис. 2).

Во время движения материального потока (если он является основным) осуществляется движение сопутствующих потоков (табл. 1), устойчивость которых может существенно влиять на устойчивость основного потока. По аналогии с представленными выше классификациями процессов, связанных с управлением материальными потоками, могут быть идентифицированы процессы, сопровождающие информационный, финансовый и людской потоки (табл. 5).

Анализ содержания табл. 5 позволяет сделать следующие выводы. Каждый из процессов (операций) управления потоками ресурсов может быть структурирован на составляющие. При управлении интегрированным потоком на определённый момент времени может выполняться несколько процессов (операций) с входящими в него потоками (струями), различающимися по параметрам и характеристикам, что требует проведения их совместного анализа. Каждый из потоков может быть обозначен кодом, наподобие кода, использованного для материального потока. Код потока в процессе его движения постоянно меняется, в том числе по причине изменений параметров сопутствующих ему потоков. Интегрированный поток может быть обозначен четырёхуровневым кодом в зависимости от типов входящих в него потоков (струй), выделенных по классификациям «А» и «Б». Причём каждый из потоков (струй) включает потоки (струи) низшего уровня с соответствующими им кодами. Тема кодирования потоков ресурсов и методологии его использования является темой отдельного исследования.

Таким образом, устойчивость потоков ресурсов является критерием устойчивости цепей поставок, цепей требований, цепей создания ценностей и процессов, которые данные цепи выполняют. По аналогии с данными табл. 4 каждый из перечисленных выше объектов управления может быть оценен шестью основными количественными параметрами (табл. 6). Каждый из представленных в табл. 6 объектов управления

**Классификация процессов, сопровождающих информационный, финансовый и людской потоки (разработано автором)**

Типы потоков	Классификационные признаки	Процессы
Информационный	<ul style="list-style-type: none"> <li>тип звена канала поставок информации: отправитель, получатель;</li> <li>аспект работы с информационным потоком: управленческий и технический.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>структуризация информации, подготовка сообщения;</li> <li>выбор способа передачи информации и её кодирование;</li> <li>передача информации и её декодирование;</li> <li>обработка полученной информации</li> </ul>
Финансовый	<ul style="list-style-type: none"> <li>тип звена канала поставок финансовых ресурсов: банк–отправитель; банк–получатель (1);</li> <li>аспект работы с финансовым потоком: экономический; технический</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>списание банком потребителя финансовых ресурсов со счёта потребителя;</li> <li>перевод банком потребителя финансовых ресурсов в банк поставщика;</li> <li>зачисление финансовых ресурсов на счёт поставщика;</li> <li>получение финансовых ресурсов поставщиком</li> </ul>
Людской	<ul style="list-style-type: none"> <li>этап формирования людского потока: аналитический практический;</li> <li>уровни согласования параметров людского потока: операции процесса;</li> <li>знания, умения и навыки – людские ресурсы</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>исследование содержания операций процесса и определение перечня ресурсов для его осуществления;</li> <li>обоснование знаний, умений и навыков людских ресурсов для осуществления операций процесса;</li> <li>обучение и/или привлечение людских ресурсов соответствующей профессии и квалификации;</li> <li>оформление отношений с людскими ресурсами и их ознакомление с операциями процесса</li> </ul>

Таблица 6

**Параметры объектов управления (разработано автором)**

Параметры объектов управления	Объекты управления		
	Поток ресурсов	Цепи поставок ресурсов	Процессы (операции) управления потоками ресурсов
Количество	+	+	+
Качество	+	+	+
Затраты	+	+	+
Время	+	+	+
Территория		+	
Траектория	+		



Рис. 2. Последовательность процессов (операций) управления потоками материальных ресурсов (разработано автором).

Таблица 7

**Иерархия приоритетов объектов управления (разработано автором)**

Качество (Q)	Количество (K)	Затраты (Z)	Время (T)	Приоритет объектов управления (шифр)
0	0	0	0	Обычный (5)
0	0	0	1	Актуальный (4-T)
0	0	1	0	Актуальный по затратам (4-Z)
0	0	1	1	Значимый (3-ZT)
0	1	0	0	Актуальный по количеству (4-K)
0	1	0	1	Значимый (3-KT)
0	1	1	0	Значимый (3-KZ)
0	1	1	1	Важный (2-KZT)
1	0	0	0	Актуальный по качеству (4-Q)
1	0	0	1	Значимый (3-QT)
1	0	1	0	Значимый (3-QZ)
1	0	1	1	Важный (2-QZT)
1	1	0	0	Значимый (3-QK)
1	1	0	1	Важный (2-QKT)
1	1	1	0	Важный (2-QKZ)
1	1	1	1	Особо важный (1)



(и, в первую очередь, поток ресурсов) имеет приоритет, который формируется на основе устойчивости их параметров, причем эти приоритеты образуют иерархию как на этапе подготовки к созданию ценности для конечного потребителя продукции и/или услуг, так и на этапе оперативного управления объектами. На основе четырёх параметров объектов управления можно выделить пять уровней приоритетов: обычный, актуальный, значимый, важный и особо важный (табл. 7).

## ВЫВОДЫ

В результате проведённых исследований разработаны обладающие признаками научной новизны классификации потоков первого («А») и второго («Б») уровней, создающие основу для использования кодов данных потоков с указанием типов систем и процессов, обеспечивающих их устойчивость.

Предложена иерархия приоритетов объектов управления, в зависимости от которой реализуются антикризисные меры оперативного управления потоками ресурсов.

Разработанные подходы позволяют устранить противоречия между звеньями цепи поставок и цепи требований, достигающими собственными целями и заинтересованными в снижении упущенной ими выгоды, организовать их взаимодействие в рамках управления отношениями с поставщиками и потребителями, создать и поддерживать систему мониторинга устойчивости потока ресурсов, а также внедрять антикризисные меры, предотвращающие снижение ценности для конечных потребителей.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Lu, D. Fundamentals of Supply Chain Management, 2011, 112 p. [Электронный ресурс]: <https://library.ku.ac.ke/wp-content/downloads/2011/08/Bookboon/Magement%20andOrganisation/fundamentals-of-supply-chain-management.pdf>. ISBN 978-87-7681-798-5. Доступ 12.01.2021.
2. Chen, Huei-Huang; Liu, Kuo-Shean; Chen, Shih-Chih; Chang, Chan-Yen; Hsieh, Kai-Shih; Yang, Wang. An

overview of workflow management system structure in the supply chain. Australian Journal of Business and Management Research, 2012, Vol. 2, No. 4, pp. 12–19. [Электронный ресурс]: <http://www.ajbmr.com/articlepdf/aus-24-04i4n2a2.pdf>. Доступ 12.01.2021.

3. Seuring, S., Müller, M. From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. Journal of Cleaner Production, 2008, Vol. 16, Iss. 15, pp. 1699–1710. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.04.020>.
4. Harrison, A., Van Hoek, R. Logistics Management and Strategy: Competing through the supply chain. 3<sup>rd</sup> ed., Pearson Education Limited, 2008, 346 pp. [Электронный ресурс]: <https://vulms.vu.edu.pk/Courses/MGMT615/Downloads/Logistics%20Management%20and%20Strategy%20Competing%20Through%20the%20Supply%20Chain.pdf>. Доступ 12.01.2021.
5. Forrester, J. W. Industrial dynamics. Journal of the Operational Research Society, 1997, Vol. 48, Iss. 10, pp. 1037–1041. DOI: <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2600946>.
6. Handbook of Supply Chain Management. Ed. by Ayers, J. B. Taylor & Francis Group, CRC Press, 2000, 488 p. eBook ISBN: 9780429247439. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781420025705>.
7. Croom, S., Romano, P., Giannakis, M. Supply chain management: an analytical framework for critical literature review. European journal of purchasing & supply management, 2000, Vol. 6, Iss. 1, pp. 67–83. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0969-7012\(99\)00030-1](https://doi.org/10.1016/S0969-7012(99)00030-1).
8. Dherment-Fèrère, I. Maîtrise d'ouvrage et ERP, processus logistiques, comptables et financiers. Ed. Lavoisier, Paris, 2007, 294 p.
9. Pfohl, H.-C., Gomm, M. Supply chain finance: optimizing financial flows in supply chains, Logistics research, 2009, Vol. 1, Iss. 3–4, pp. 149–161. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12159-009-0020-y>.
10. Halley, A., Guilhon, A. Logistics behaviour of small enterprises: performance, strategy and definition. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 1997, Vol. 27, No. 8, pp. 475–495. DOI: <https://doi.org/10.1108/09600039710182644>.
11. Shapiro, R. D., Heskett, J. L. Logistics Strategy: Cases and Concepts. St. Paul. Minnesota: West Publishing, 1985, 602 p.
12. Тарасенко Е.А., Карх Д.А., Тяпухин А.П. Управление логистическими системами: Монография. – М.: Русайнс, 2021. – 156 с.
13. Engler, E., Gewies, S., Grunewald, E., Banyś, P. Trajectory-based multimodal transport management for resilient transportation. Transport problems, 2018, Vol. 13, Iss. 1, pp. 81–96. DOI: 10.21307/tp.2018.13.1.8.
14. McCarthy, E. J. Basic marketing: a managerial approach / E. J. McCarthy, W. D. Perreault. – 10<sup>th</sup> ed. – Homewood: Irwin, 1990. – 734 p. ISBN 0-256-06865-8.
15. Тяпухин А. П. Устойчивость систем поставок ресурсов // Мир транспорта. – 2019. – № 6. – С. 142–165. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-142-165>. ●

### Информация об авторе:

**Тарасенко Евгения Алексеевна** – научный сотрудник Оренбургского филиала Института экономики Уральского отделения Российской академии наук; преподаватель Оренбургского института путей сообщения – филиала Самарского университета путей сообщения, Оренбург, Россия, [t\\_e\\_a\\_t@mail.ru](mailto:t_e_a_t@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 12.01.2021, одобрена после рецензирования 21.04.2021, принята к публикации 23.04.2021.



## Моделирование и оптимизация бизнес-процесса документального сопровождения грузоперевозок для построения цифровой системы документооборота



Ольга ЕФИМОВА



Юрий СУРОДИН

*Ольга Владимировна Ефимова<sup>1</sup>,  
Юрий Николаевич Суродин<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> Российский университет транспорта, Москва, Россия.*

*<sup>2</sup> ОАО «РЖД», Москва, Россия.*

*✉ <sup>1</sup> [ovefimova@mail.ru](mailto:ovefimova@mail.ru).*

### АННОТАЦИЯ

Целью работы является анализ примеров оптимизации системы документального сопровождения грузовых железнодорожных перевозок на основе перехода к электронной форме документов.

Рассматривается теоретическая концепция моделирования бизнес-процесса документального сопровождения грузоперевозок с применением программного продукта ARIS, который используется в разработке комплексной процессной модели деятельности многих производственных и транспортных компаний в России и в мире [1].

Предметом исследования является моделирование системы документооборота сопровождения грузовых перевозок для устранения потерь в существенной части процессов взаимодействия с клиентами. Целью моделирования бизнес-

процессов является использование всех преимуществ и функциональных возможностей CASE-средств для устранения дублирования действий и операций, не добавляющих ценности клиентам транспортной компании и снижающих их лояльность продуктам и услугам железнодорожной перевозки. Исследуются бизнес-процессы, обеспечивающие формирование заявки на перевозки и её трансформацию в ходе перевозочного процесса.

В исследовании, отражающем результаты моделирования бизнес-процессов документального сопровождения перевозок в цифровой форме, даётся сравнительный анализ этих моделей, описываются преимущества электронной формы документов по сравнению с бумажной с учётом возможности использования цифровой подписи.

*Ключевые слова:* электронный документооборот, цифровая технология, моделирование, бизнес-процесс, железнодорожные перевозки, сопровождение грузоперевозок.

*Для цитирования:* Ефимова О. В., Суродин Ю. Н. Моделирование и оптимизация бизнес-процесса документального сопровождения грузоперевозок для построения цифровой системы документооборота // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 2 (93). С. 57–63. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-8>.

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

## ВВЕДЕНИЕ

Моделирование процессов в любом виде бизнеса, а в особенности в транспортном секторе экономики с преобладающим характером сквозных технологий направлено на совершенствование бизнес-процессов и показателей, которые служат индикаторами и драйверами улучшения деятельности организации. Моделирование является одним из методов анализа и совершенствования движения документов на предприятии. Моделирование – описание, выявление, имитация и анализ бизнес-процессов, конструирование новых процессов с целью их последующей оптимизации.

Одним из основных бизнес-процессов на железнодорожном транспорте являются грузовые перевозки, во многом определяющие экономические показатели деятельности работающих в этой отрасли компаний. Вполне естественно, что грузовые перевозки стали одной из первых площадок для апробации и применения цифровых технологий, в том числе моделирования многих процессов, включая связанные с документооборотом, играющим важную роль в оформлении взаимоотношений с грузоотправителями, регулирующими органами, непосредственно в процессе перевозки.

Исследование и проектирование процессов информационного сопровождения грузовых перевозок с использованием инструментарию моделирования позволяет:

- наглядно, графически представить структуру системы информационного сопровождения взаимодействия с грузоотправителями;
- подробно описать функции системы документооборота;
- выявить потенциальные возможности развития технологий документооборота с клиентами железнодорожного транспорта;
- выявить и проанализировать информационные связи с внутренними и внешними участниками документального сопровождения перевозочного процесса;
- оптимизировать технологические операции работы с документами, их последовательность, применяя технологию описания потоков работ (workflow).

Моделирование позволяет максимально упростить систему электронного документооборота, отражая её самые важные свойства и ресурсы, что способствует исключению потерь в бизнес-процессе документооборота

при использовании инструментальной среды как средства оптимизации и прогнозирования. Оформленная в стандартном виде модель позволяет спроектировать будущий процесс до того, как он будет воспроизведён в виде программно-аппаратных комплексов, что способно уменьшить затраты на его создание [2]. Визуальное представление процессов получения и обработки информации о формировании заявки на перевозку и её согласование даёт возможность устранить потери в эффективности и времени на оформление перевозочных документов [3].

В моделировании бизнеса используются математические методы, которые базируются на исследовании операций (ИСО), целью которого является поиск рационального способа действия при решении организационно-управленческих задач в условиях присутствия различных ограничений. К таким задачам относится множество задач линейного и динамического программирования, управление запасами, теория массового обслуживания и т. д. Современные представления о бизнес-моделировании основываются на процессном подходе к управлению. Огромное количество публикаций теоретического направления посвящено процессному подходу и опыту практического применения [4; 5]. Публикации содержат образцы бизнес-моделирования, в которых используются инструментальные средства для различных видов производственных систем и технологий [6; 7]. Благодаря процессному подходу и методологии бизнес-моделирования бизнес может быть описан как совокупность процессов, каждый из которых может быть оптимизирован на основе стандартов менеджмента качества, а также подходов, позволяющих устранить потери и операции, которые не добавляют ценности потребителю.

Инструментальные средства моделирования осуществляются многочисленными пакетами прикладных программ, которые предназначены для различных сфер деятельности. В области «разработки программных продуктов и программной инженерии одним из способов представления процессов является CASE-метод (англ. computer-aided software engineering)» [8], который включает набор методов, инструментов программной инженерии для проектирования программного обеспечения, помогая гарантировать высокое качество сопровождения программ-

ных информационных систем и продуктов [9; 10].

CASE-средства – это инструменты, предназначенные для оптимальной автоматизации процессов проектирования и разработки не только программного обеспечения с позиций трудозатрат разработчика, но и для процессов в других областях деятельности, в частности для описания технологий транспортных процессов. Вначале CASE-средствами считались лишь инструменты, которые предназначены для упрощения самых сложных и трудоёмких процессов анализа и конструирования информационных систем. Однако после введения стандарта ISO/IEC 14102 CASE-средства стали определять как программные средства для поддержки процессов жизненного цикла цифровых сервисов и программных продуктов [11].

Содержание этого понятия, «как правило, определяется перечнем решаемых задач, а также совокупностью применяемых методов и средств» [12, с. 44], то есть, иными словами, алгоритмами и форматами описания процессов для автоматизации. CASE-технологии – «совокупность методологий анализа, разработки и сопровождения сложных систем, поддержанную совокупностью взаимосвязанных средств автоматизации» [12, с. 44].

Функциональное назначение программных продуктов, которые используются для автоматизации бизнес-процессов предприятий, можно представить, разделив на три вида: интегрированные корпоративные системы, системы электронного документооборота и программные продукты для формализованного представления бизнес-процессов.

Системы электронного документооборота выполняют функции учёта, передачи и хранения документов, что имеет особенное значение в транспортной сфере, где перевозочные документы являются основанием для оплаты особого вида продукции – перевозки, которая не может быть сохранена или возвращена исполнителю.

Программные продукты моделирования бизнес-процессов обычно используются в деятельности организации в реинжиниринговых проектах. Эти же продукты могут быть использованы для реинжиниринга системы электронного документооборота.

Моделирование процесса начинается «со стадии анализа требований и конструирования взаимосвязей и структуры операций,

которые составляют в процессе поток создания ценности. Это максимально плохо формализуемые и трудоёмкие этапы разработки систем управления. Когда разрабатывают любую систему управления, появляется задача выбора инструмента проектирования, который должен позволять эффективно и грамотно решать поставленные задачи и отвечать всем требованиям проектировщиков» [13]. Выбор CASE-средства во многом зависит от методов анализа и проектирования ИС.

На этот счёт можно привести развёрнутую цитату из упомянутой работы К. С. Мышенкова [13]: «Функциональные модели выполняют функции структурированного изображения среды или системы, информации и объектов, которые связывают эти функции. Эти модели применяют при проектировании новой системы, при анализе требований к системе, при принятии решений о реинжиниринге системы управления для анализа бизнес-процессов.

Модели потоков данных необходимы для графического структурного анализа, которые описывают внешние по отношению к системе процессы, приёмники и источники данных, потоки данных и хранилища данных, к которым выполняется доступ.

Модели бизнес-процессов содержат описание потоков работ, бизнес-функций, подразделений, ресурсов, процессов, ролей, носителей информации, информационных систем, должностей. При этом модели могут быть как статическими, так и динамическими, поскольку описывают последовательность и условия реализации бизнес-процессов. Модели бизнес-процессов применяются при внедрении систем управления на предприятиях, при описании и реинжиниринге видов деятельности компании, во время анализа и определения требований к системе.

Событийные модели данных отображают функционирование системы в качестве набора состояний бизнес-единиц или предметов труда, в том числе существенные события системы по их трансформации. Информационные модели конкретной предметной области или её объектов отражают структуру данных проектируемых систем» [13].

Статические модели бизнес-систем с течением времени не отображают динамику. У таких моделей формы представления на всех ступенях реинжиниринга относятся к классам, диаграммам, компонентам или



объектам системы и их отношениям между собой. Динамические модели используются для анализа, отражают последовательность выполнения функций системы в течение времени, а также процесс изменения состояний реальной или проектируемой системы [13].

Если рассматривать пример России, то наиболее распространёнными программными продуктами для «моделирования бизнес-процессов по данным исследовательской компании Gartner, которая специализируется на аналитике рынка информационных технологий, являются системы Corporate Modeler Suite и ARIS<sup>1</sup>, представляемые компаниями Casewise и IDS Scheer AG на мировом рынке, соответственно. Corporate Modeler Suite занимает лидирующее положение в ряде стран, однако этот инструмент, в отличие от ARIS, пока ещё на российском рынке не популярен» [14].

*Целью* исследования, результаты которого изложены в данной статье, являлось рассмотрение примера оптимизации процесса документального оформления грузоперевозки.

*Методом* исследования является инструментарий ARIS (Architecture of Integrated information Systems). ARIS имеет набор программных сервисов для построения карты процессов; нескольких нотаций описания моделей, а именно: eEPC (extended event driven process chain) и «модели бизнес-процессов в нотации BPMN (Business process model and notation). В составе бизнес-возможностей продукта ARIS включена также функция Smart Design, которая позволяет быстро вносить необходимые данные для автоматизированного создания» моделей [5].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Основной целью применения методов моделирования бизнес-процесса документооборота является повышение его операционной эффективности, а также организация передачи данных наиболее оптимальным способом, ведущей к снижению затрат времени, трудовых и материальных ресурсов, повышению уровня транспортно-логистических услуг и конкурентоспособности.

Инструментарий моделирования бизнес-процесса документооборота ARIS рассматривает организацию в следующих пяти

аспектах: «продуктов и услуг, обрабатываемых данных, функциональном, организационном, структуры бизнес-процессов. Эти аспекты подразделяются ещё на три подуровня: описание спецификации, описание требований, описание внедрения. При описании бизнес-процессов используют примерно 80 типов моделей, каждая из которых относится к одному из аспектов. Главным принципом в ARIS является возможность интеграции моделей разных типов в рамках одного репозитория путём детализации объектов. В результате любая организация может быть описана с помощью иерархии моделей» – от, к примеру, процессов верхнего уровня «до уровня процедур и ресурсного окружения функций» [15].

Модели процессов подачи заявки на перевозку груза, разработанные при помощи инструментария ARIS, представлены ниже (рис. 1 и 2). Сопоставление моделей бизнес-процесса документооборота наглядно показывает эффективность электронной формы грузосопроводительных документов по сравнению с бумажной.

Для конкретизации примеров использованы некоторые процедуры и формы документов, применяемые на сети ОАО «РЖД».

Электронная форма документов нивелирует ряд повторяющихся итераций в ходе согласования и корректировки документов, существенно сокращая при этом время оформления документов и упрощая процедуру согласования. В частности, оформление заявки на перевозку грузов при оформлении заявки в электронном виде по сравнению с бумажным документооборотом сокращается на восемь операций, выполняемых агентом транспортной компании. Весь процесс согласования, включающий пять вариантов результата (передача заявки с результатом согласования, отказ от частично согласованной заявки, отзыв заявки на перевозку грузов, отказ от выполнения согласованной заявки, отказ от выполнения части согласованной заявки), сокращается до одного действия клиента – внесения информации в АРМ (автоматизированное рабочее место).

Очевидным преимуществом электронного документооборота является отсутствие необходимости выездов клиента для подтверждения каждой операции по оформлению и корректировке документа. Современный уровень развития технологий не позво-

<sup>1</sup> Официальный сайт ARIS Community. [Электронный ресурс]: <https://www.ariscommunity.com/>. Доступ 12.03.2021.



Рис. 1. Процесс подачи заявки на перевозку груза при бумажном документообороте (составлено авторами).

ляет взаимодействовать с грузоотправителями иным способом с точки зрения стратегии клиентоориентированности железнодорожного транспорта.

АС «ЭТРАН» (Автоматизированная система «Электронная транспортная накладная») предназначена для электронного документооборота в организации, в которой документы содержат электронную подпись. Форма ГУ-12, указанная на рис. 1, это заявка на перевозку грузов железнодорожным транспортом, которую представляет грузоотправитель для осуществления перевозки грузов, а форма ДУ-18 – заявка на перевозку грузов на транспорте.

Электронная система документооборота позволяет полностью отказаться от таких операций, как:

- формирование и заполнение бумажных экземпляров документа;
- лишние перемещения представителей клиента, связанные с необходимостью доставки бумажных форм;
- исправление ошибок, возникающих при заполнении форм;
- обработка, связанная с проставлением штампов и письменным заполнением бумажной формы документов;
- автоматическое занесение данных и печать документов с применением системы



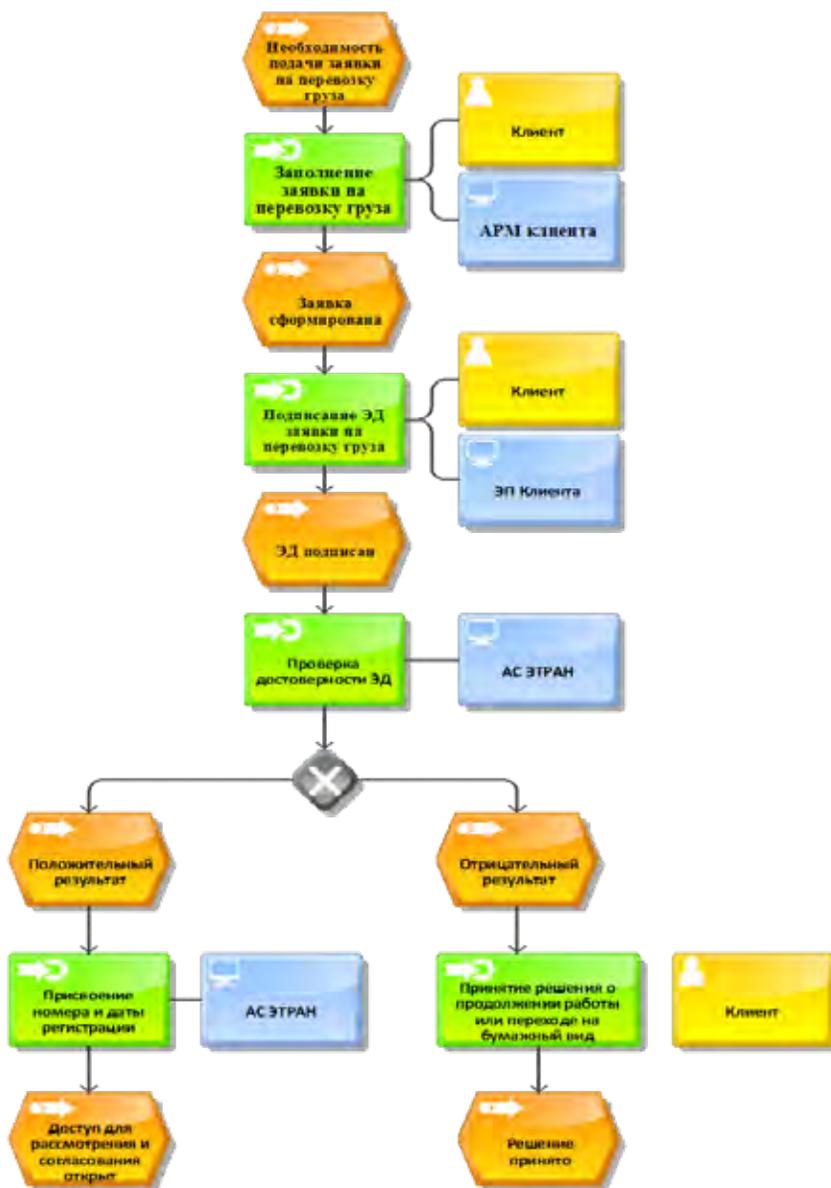


Рис. 2. Процесс подачи заявки на перевозку груза с использованием ЭП (составлено авторами).

централизованной подготовки и оформления документов для перевозки;

- проверка правильности заполнения и наличия необходимых документов;
- проставление штампов и письменное заполнение бумажной формы;
- хранение экземпляров документов;
- лишние перемещения сотрудников транспортной компании, связанные с передачей документа ответственному агенту;
- проверка агентом транспортной компании полномочий представителя грузополучателя.

## ВЫВОДЫ

В результате отмены бумажной формы грузосопроводительных документов экономятся время всех участников перевозочного процесса, трудовые и материальные ресурсы компаний.

Графическое отражение и сопоставление существующих моделей системы в работе не является самоцелью. Анализ представленных моделей позволяет планировать дальнейшую адаптивную трансформацию и формировать архитектуру цифровой системы документооборота, которая должна обеспечивать эффек-

тивность ресурсов, процессов и рыночную эффективность компании.

Выбор инструментария ARIS при построении данных моделей обусловлен не только его способностью создать модель организации, но и возможностью провести достаточно глубокий анализ бизнес-процессов. ARIS позволяет взглянуть на организацию и понять, где возникли «узкие» места процессов, какие ресурсы неэффективно используются и какие цепочки бизнес-процессов надо поменять. Различные модули ARIS позволяют в динамике рассматривать всевозможные сценарии выполнения бизнес-процессов, не меняя реальной структуры организации.

Благодаря анализу бизнес-процессов и определению концептуальной схемы можно определить главные цели бизнеса и этим обозначить новые бизнес-процессы, которые необходимо будет спроектировать, параллельно идентифицируя слабые места. К тому же стратегический анализ бизнес-процессов помогает вычислить, какие новые информационные технологии возможны и целесообразны для внедрения в деятельность компании [16].

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Информационные технологии в менеджменте. Санкт-Петербургский государственный университет, 2010. – 150 с. [Электронный ресурс]: <https://e.lanbook.com/book/47525>. Доступ 12.03.2021.
2. Калашян А. Н., Калинов Г. Н. Структурные модели бизнеса: DFD-технологии / Под ред. Г. Н. Калашянова. – М.: Финансы и статистика, 2009. – 256 с. ISBN 5-279-02562-3.
3. Ильин В. В. Моделирование бизнес-процессов. Практический опыт разработчика. — М.: Агентство электронных изданий «Интермедиа», 2015. – 252 с. ISBN 978-5-8459-1338-8.
4. Таха Х. А. Введение в исследование операций. – М.: Вильямс, 2005. – 912 с. ISBN: 978-5-8459-0740-0.
5. Ковылкин Д. Ю., Новикова В. Н., Ратафьев С. В. Возможности современных инструментальных средств моделирования бизнес-процессов // Креативная экономика. – 2019. – № 7. – Т. 13. – С. 1457–1474. [Электронный ресурс]: <http://elibrary.ru/item.asp?id=39215614>. Доступ 12.03.2021.
6. Репин В. В. Бизнес-процессы. Моделирование, внедрение, управление. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2014. – 512 с. ISBN 978-5-91657-907-9.

7. Репин В. В., Елиферов В. Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2013. – 544 с. ISBN 978-5-91657-554-5.

8. Менькова С. Е., Крамаренко Т. А. Проектирование структуры базы данных бизнес-приложения с помощью CASE-средств // Сб. трудов II всероссийской научно-практ. конференции «Цифровизация экономики: направления, методы, инструменты». – Краснодар, январь 2020. – С. 407–409. [Электронный ресурс]: <http://elibrary.ru/item.asp?id=42536841>. Доступ 12.03.2021.

9. Kuhn, D. L. Selecting and effectively using a computer aided software engineering tool. Annual Westinghouse computer symposium; 6–7 Nov 1989; Pittsburgh, PA (USA); DOE Project.

10. Loucopoulos, P., Karakostas, V. System Requirement Engineering. London: McGraw-Hill, 1995, 160 p. ISBN 0-07-707843-8.

11. Одинцов И. О. Профессиональное программирование. Системный подход. – 2-е изд. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 624 с. ISBN 5-94157-457-6.

12. Масленикова О. Е. Автоматизированные технологии создания информационных систем: современность, проблемы, перспективы // Проблемы разработки и адаптации информационных систем и технологий // Межвуз. сб. науч. статей / Под общей редакцией О. Б. Назаровой. – Магнитогорск, МаГУ, 2008. – 186 с. [Электронный ресурс]: <https://booksee.org/book/805015>. Доступ 12.03.2021.

13. Мышенков К. С. Методика обоснования выбора CASE-средств для анализа и проектирования систем управления предприятиями // Инновации. – 2013. – № 10 (180). – С. 112–122. [Электронный ресурс]: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22259188>. Доступ 12.03.2021.

14. Аналитика систем электронного документооборота (СЭД) и ЕСМ. Анализ систем документооборота. [Электронный ресурс]: [http://www.docflow.ru/news/analytics/?SHOWALL\\_1=1/#4](http://www.docflow.ru/news/analytics/?SHOWALL_1=1/#4). Доступ 12.03.2021.

15. Методология ARIS. [Электронный ресурс]: <http://refrend.ru/826069.html>. Доступ 12.03.2021.

16. Шеев А. В. ARIS – моделирование бизнес-процессов. – М.: Весть-МетаТехнология, 2009. – 224 с. ISBN 978-5-8459-1449-9.

17. Елиферов В. Г., Репин В. В. Бизнес-процессы: регламентация и управление: Учебник. – М.: Инфра-М, 2021. – 319 с. ISBN 978-5-16-001825-6.

18. Кондратьев В. В. Даёшь инжиниринг. Навигатор для профессионала / Под ред. В. В. Кондратьева и В. Я. Лоренца. – М.: Изд-во Эксмо, 2005. – 174 с. ISBN 5-699-13360-7.

19. Хаммер М., Чампи Д. Реинжиниринг корпорации: Манифест революции в бизнесе. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2006. – 321 с. ISBN 978-5-902862-54-3.

20. Вендров А. М. Проектирование программного обеспечения экономических информационных систем: Учебник. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 544 с. ISBN 5-279-02937-8.

21. Беляшов А. Н., Мышенков К. С. Анализ методов проектирования систем управления // Системный анализ в проектировании и управлении: Сб. науч. тр. XVII Междунар. науч.-практ. конф. Ч. 2. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – С. 3–6. ●

### Информация об авторах:

**Ефимова Ольга Владимировна** – доктор экономических наук, профессор Российского университета транспорта, Москва, Россия, [ovefitova@mail.ru](mailto:ovefitova@mail.ru).

**Суродин Юрий Николаевич** – исполняющий обязанности главного инженера Центра фирменного транспортного обслуживания (ЦФТО) – филиала ОАО «РЖД», Москва, Россия, [shalaknot3@yandex.ru](mailto:shalaknot3@yandex.ru).

Статья поступила в редакцию 08.02.2021, одобрена после рецензирования 21.04.2021, принята к публикации 23.04.2021.





# Оптимизация уровня запасов как задача логистики



Виталий АНТИПЕНКО



Николай БАБИЧ



Константин ГАЛКИН

*Виталий Сафронович Антипенко<sup>1</sup>, Николай Сергеевич Бабич<sup>2</sup>, Константин Владимирович Галкин<sup>3</sup>*

<sup>1,2</sup> Российский университет транспорта, Москва, Россия.

<sup>3</sup> ООО «Дефшов», Москва, Россия.

✉ <sup>1</sup> [Antipenkovs7@mail.ru](mailto:Antipenkovs7@mail.ru).

## АННОТАЦИЯ

Запасы обеспечивают устойчивость работы производственной технической системы. На производстве имеются склады заготовок для создания конечных выходных деталей и склады готовой продукции для удовлетворения спроса потребителей. Запасы заготовок позволяют избежать простоя на производстве, а запасы готовой продукции – своевременно обеспечить спрос и избежать штрафных санкций за несвоевременные поставки готовых изделий потребителям.

С другой стороны, объекты, составляющие запасы – это «омертвлённые» материальные средства, не приносящие прибыли, что отрицательно сказывается на экономической эффективности и на конкурентоспособности. Согласно опубликованным данным, в экономически развитых

странах, таких как США, Япония, ФРГ и других, в запасах находится до 30–40 % продукции. Всё это указывает на актуальность вопроса оптимизации уровня запасов, проблемы установления и поддержания оптимального уровня запаса, своевременного его пополнения с учётом времени, необходимого для выполнения заявок.

Цель работы – предложить решение стохастической логистической задачи управления запасами со случайным временем задержки и случайным спросом, полученное авторами методами математической статистики, математического моделирования и производственной логистики для неизвестных и произвольного вида функций распределения спроса и времени задержки. Подходы к реализации предложенного решения демонстрируются на конкретных примерах.

**Ключевые слова:** логистика, запасные части, система управления запасами (СУЗ), стратегия управления, стохастический спрос, стохастическое время задержки, технико-экономические функции, целевой функционал, алгоритмы, динамика уровней запаса запчастей.

**Для цитирования:** Антипенко В. С., Бабич Н. С., Галкин К. В. Оптимизация уровня запасов как задача логистики // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 2 (93). С. 64–68. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-9>.

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

## ВВЕДЕНИЕ

Существует необходимость повышения эффективности систем управления запасами запчастей для транспорта и машин специального назначения путём построения моделей их оптимизации. Проблема управления запасами возникла достаточно давно. В транспортном машиностроении материальные запасы исполняют роль амортизатора в условиях несовпадения темпов производства и темпов поступления сырья. Наличие объёмов запасов на промышленном предприятии является объективной реальностью и экономической необходимостью. При этом материальные ресурсы, сосредоточенные в запасах, отвлекаются из сферы производства. Средства, вложенные в запасы, составляют наибольший удельный вес в оборотных средствах промышленных предприятий. Структура запасов состоит преимущественно из сырья, основных материалов, комплектующих изделий и покупных полуфабрикатов.

Научные теории управления запасами возникли в конце XIX века. Первые математические модели систем управления запасами (СУЗ) носили детерминистический характер. Используемые экономико-математические функции и построенные на их основе критерии эффективности систем управления запасами были линейными и зачастую унимодальными. Это, в свою очередь, диктовало выбор метода оптимизации предлагаемых моделей СУЗ. Предпринимались попытки аналитического решения проблемы. Позднее применялись методы линейного и динамического программирования. С усовершенствованием технологий промышленного производства, с усложнением и развитием связей и кооперации предприятий, в том числе и структур материально-технического снабжения, пришло понимание необходимости учёта влияния множества факторов на работу СУЗ. От детерминистических моделей пришлось отказаться как от не адекватных реальным условиям. Пришло время стохастических моделей СУЗ. Развитие промышленной логистики как системы управления потоками материальных средств и финансов привело к усложнению СУЗ, потребовало разработки качественно новых математических моделей, углублённого изучения их математических свойств. Например, в США доля запасов

в валовом внутреннем национальном продукте за почти 35-летний период составляет около 28 %. Отказавшись от традиционных подходов к управлению процессами снабжения, производством и сбытом, при которых управление каждым из этих процессов осуществлялось не комплексно, а отдельно и независимо друг от друга, американские фирмы добились значительного снижения издержек по содержанию и обслуживанию запасов и их доли в годовом объёме издержек. Переход на логистические подходы в СУЗ в американских фирмах позволил снизить долю оборотных средств, вложенных в запасы до 18 % в валовом внутреннем продукте США [1; 2].

В подавляющем числе публикаций последних лет отдается предпочтение логистике и стохастическим моделям как наиболее адекватно описывающим реальные условия [3; 4].

В этой связи *цель* работы – предложить решение стохастической логистической задачи управления запасами со случайным временем задержки и случайным спросом, полученное с использованием *методов* математической статистики, математического моделирования и производственной логистики для неизвестных и произвольного вида функций распределения спроса и времени задержки.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Рассмотрим математическую модель СУЗ, соответствующую одному из наиболее распространённых условий функционирования промышленного предприятия. При постановке задачи допустим, что спрос обычно носит случайный характер, а заявки выполняются со случайным временем задержки. Функции распределения спроса и времени задержки априори произвольны и неизвестны, и зачастую не унимодальны. В подобной постановке задача не решена. В этих условиях для достижения указанной цели естественно воспользоваться современными методами производственной логистики, в том числе методами математической статистики, математического моделирования, информационных технологий и, в частности, алгоритмами идентификации.

Пусть система управления запасами характеризуется функцией затрат  $Z$  на хранение запаса, доставку, дефицит и т.п. Управ-



ление запасами осуществляется путём выбора стратегии управления. Одной из достаточно эффективных и гибких стратегий является  $(s, S)$ -стратегия, согласно которой заказ величиной  $S - y$  формируется по снижению уровня запаса  $y$  ниже уровня  $s$ ,  $s < S$ . Для случайных спроса и задержки  $Z = Z(y(s, S, x))$ , где, согласно работе Ю. И. Рыжикова [5],  $y(s, S, x)$  – текущий уровень запаса,  $x$  – случайный спрос,  $s, S$  – уровни в  $(s, S)$ -стратегии. Тогда критерием оптимальности системы  $J$  служит некоторая усреднённая функция от затрат  $Z$ :

$$J(s, S) = \text{Mx} \{F[y(s, S, x)]\} \rightarrow \min s, S. \quad (1)$$

Применяя к (1) один из методов информационных технологий – метод стохастической аппроксимации, получаем самосогласованную систему адаптивных алгоритмов [6–8]:

$$\begin{aligned} S[p+1] &= S[p] - \gamma_\alpha (S[p+1]) \cdot f_s \cdot \\ &\cdot F(Z(y(s[p], S[p], x[p+1]))); \\ s[p+1] &= s[p] - \gamma_\alpha (s[p+1]) \cdot f_s \cdot \\ &\cdot F(Z(y(s[p], S[p], x[p+1]))), \end{aligned} \quad (2)$$

где градиент по  $\alpha$  – производная по направлению;

$\alpha \cdot \gamma_\alpha \cdot [p+1]$  – коэффициенты;  
 $f_s, f_S$  – функции, учитывающие ограничения на  $s$  и  $S$ .

Предполагается, что функции  $F$  и  $Z$  – дифференцируемые, в противном случае можно применить поисковые алгоритмы. Достаточные условия сходимости (2) приведены в многочисленных монографиях по методам стохастической аппроксимации. В процессе вычисления в (2) необходимо знать явный вид функции  $y(s, S, x)$  для нахождения производных по  $s$  и  $S$ . Запишем уравнение, моделирующее динамику запасов и использующее для управления  $(s, S)$ -стратегию. Известно, что в рамках  $(s, S)$ -стратегии при  $y \geq s$  системе не требуется пополнение запасов, а при  $y < s$  посылается заказ на пополнение запаса в размере  $(S - y)$ . Неудовлетворённые заявки не покидают систему, а ждут, пока дефицит запаса не будет устранён очередным заказом. Всё исследование проводится для дискретного спроса.

Перенумеруем заявки по мере поступления в систему. Можно считать, что их число бесконечно. Выполняется очевидное отношение:

$$\begin{aligned} y_k(x[i]) &= y_{k-1}(x[\eta_k - 1]) + \\ &+ (S - y_k(x[i]) \text{sgn}(s - y_k(x[i - 1])) - x[i]), \end{aligned} \quad (3)$$

где  $i = 1, 2, 3, \dots$ ;

$y_0(x([\eta_0]))$  – начальный уровень запаса;

$k$  – номер периода по порядку;

$\eta_k$  – номер последней заявки в  $k$ -м периоде, определяющийся из условия:

$$\text{sgn}(s - y_k(x[i - 1]) - x[i]) = 1 \rightarrow i = \eta_k. \quad (4)$$

Следует отметить, что в (1)–(4) время не встречается в явной форме. Зависимость от времени существенна для объектов, функции затрат которых изменяются за рассматриваемый промежуток времени. Как правило, вид функции затрат для объектов машиностроения не изменяется за время оптимизации.

В то же время представляет значительный практический интерес проблема оптимизации запасов запасных инструментов и принадлежностей (ЗИП) для автомобильного, железнодорожного транспорта и для спецтехники.

Спецтехника – это большой класс транспортных средств специального назначения в строительстве, промышленности, транспортировке грузов, в военном деле. Автомобильную спецтехнику подразделяют по функциональному назначению: строительная, дорожно-строительная, сельхозтехника, пожарная спецтехника, железнодорожная спецтехника, и т.д., для успешного функционирования которых необходимы ЗИП в оптимальном количестве.

Фактор времени в СУЗ играет зачастую вспомогательную роль. На самом деле на складе важен уровень запаса в момент поступления очередной заявки, а не момент времени поступления заявок. Дефицит возможен только при  $s < 0$ . Если в системе существует задержка, то и при  $s > 0$  может появиться дефицит. В этом случае при получении исходной информации и с использованием уравнения, аналогичного (3), можно обойтись в алгоритмах без использования времени в явной форме несмотря на то, что задержки имеют смысл промежутка времени. При моделировании динамики уровня запаса учтём случайную задержку через случайное количество заявок, приходящих в течение этого промежутка времени. При таком подходе удаётся отказаться от хронометрирования изменения уровня  $y$ , что существенно снижает трудоёмкость получения исходной информации. Нужны лишь данные о величине и очередности отдельных заявок, а не об их временном распределении. Сведения о величине и очередности заявок в далее рассматриваемых примерах устанавливались по отчётным документам.

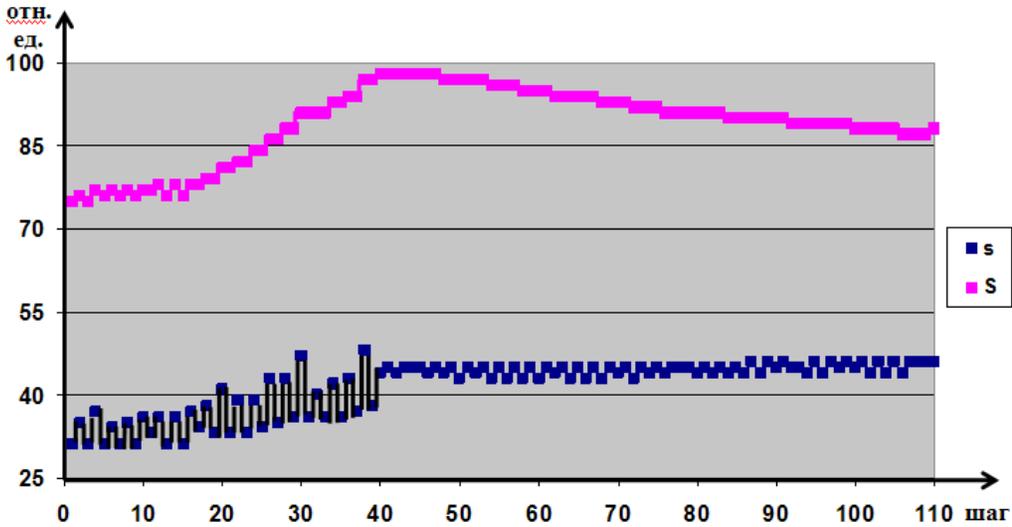


Рис. 1. Графики изменения уровней запасов ЗИП-планки 1 для предприятий автомобильной промышленности (построены авторами).

Так как методы с использованием первой производной (градиента) являются необходимым условием экстремума, то будем сравнивать значения критерия в процессе вычисления  $s[p], S[p]$  для различных  $p$ . Для функционала (1) воспользуемся алгоритмом типа (2):

$$J_e[p] = J_e - 1[p] - f_c[p] \{F(Z(y(s[p], S[p], x[e]))) - J_e - 1[p]\}, \quad (5)$$

где  $J_e[p] = J_e(s[p], S[p])$ .

В качестве возможного условного примера рассматривается математическая модель задачи оптимизации уровня запасов планок 1 и 2

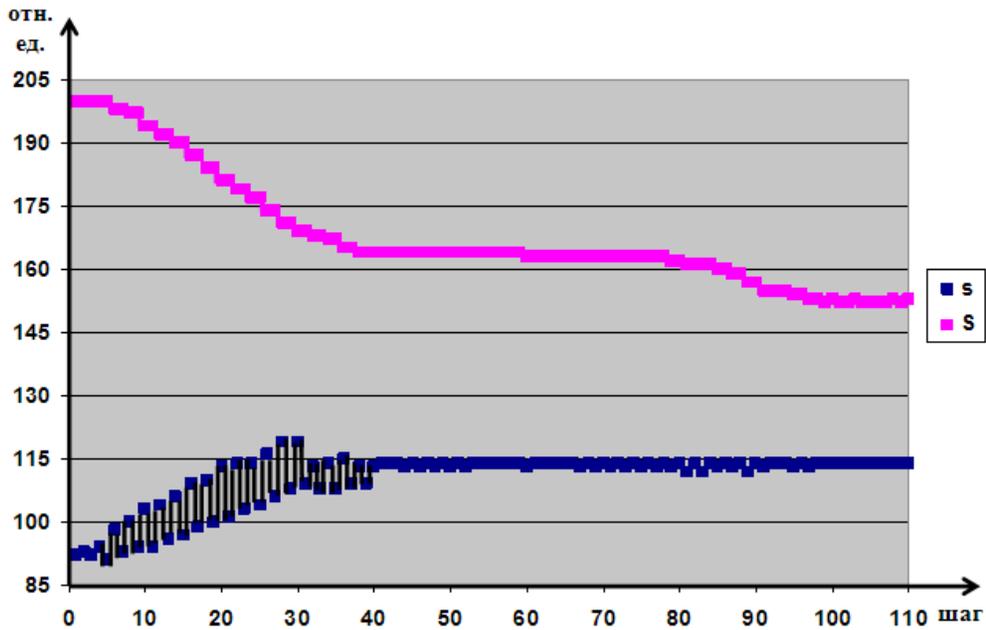


Рис. 2. Графики изменения уровней запасов ЗИП-планки 2 для предприятий автомобильной промышленности (построены авторами).



(рис. 1, 2) для автопрома со случайным спросом и случайным временем задержки. Авторы проверили на приведённой модели движения запасов эффективность разработанной ими программы вычислений по системе алгоритмов (1)–(7). Во избежание не относящейся к содержанию работы дискуссии, авторы приводят данные в относительных единицах, хотя моделировался режим работы реального склада. Исходная информация о движении материальных объектов может быть получена из отчётных данных непосредственно на складе. Техничко-экономические функции могут быть получены из финансовых отчётов с последующей аппроксимацией исходных данных с помощью ортогональных полиномов Чебышева по известным методикам [9–11].

Результаты вычислений, проведённых авторами по соотношениям (1)–(5) для условных примеров, приведены на рис. 1, 2. По горизонтальной оси отложены номера заявок-спроса в порядке поступления в СУЗ, по вертикальной оси – изменения уровней  $s$  и  $S$  от исходных значений, установленных экспертным путём. Сошедшиеся значения  $s$  и  $S$  принимаются в качестве оптимальных как соответствующие минимуму целевого функционала.

## ВЫВОДЫ

В работе приведена разработанная авторами на основе методов производственной логистики математическая модель стохастической СУЗ и предложен неявный способ учёта времени задержки доставки заказа на пополнение запаса на складе через учёт поступающих в течение времени задержки заявок (спрос), что и являлось целью данной публикации. Рекуррентные соотношения (2) получены методами теории идентификации [6]. Таким образом, использование современных методов производственной логистики позволило построить схему оптимизации уровня материальных средств на складе, что способно повысить эффективность и конкурентоспособность деятельности конкретных предприятий.

Следует отметить, что цифровые технологии, которые относят также к классу IT-технологий, в настоящее время находят большое применение в управлении промышленным производством и технологическими процессами. В частности, в транспортной сфере исследования по применению цифровых технологий проводятся в Государственном научном центре ФГУП «НАМИ», во множестве других организаций и ассоциаций транспортной отрасли.

Предложенная авторами модель может быть полезна для использования в практике управления запасами.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бауэрсек Д. Д., Клосс Д. Дж. Логистика: интегрированная цепь поставок. – 2-е изд. / Пер. с англ. – Москва: Олимп-Бизнес, 2006. – 639 с. ISBN 5-901028-84-8.
2. Waters, D., Rinsler, S. Global Logistics: New Directions in Supply Chain Management. CPI Group (UK), 2014, 512 p.
3. Afshar Sedigh, A. H., Haji, R., Sajadifar, S. M. Cost function and optimal boundaries for a two-level inventory system with information sharing and twoidentical retailers. Scientia Iranica E, 2019, Vol. 26 (1), pp. 472–485. [Электронный ресурс]: [http://scientiairanica.sharif.edu/article\\_20144\\_0bc9ef3cd5e3414551be58cda4fdde4f.pdf](http://scientiairanica.sharif.edu/article_20144_0bc9ef3cd5e3414551be58cda4fdde4f.pdf). Доступ 23.04.2020.
4. Сергеев В. И., Эльяшевич И. П. Логистика снабжения. – М.: Рид Групп, 2015. – 416 с.
5. Рыжиков Ю. И. Логистика и Теория очередей: Учебное пособие. – М.: Лань, 2019. – 456 с.
6. Цыпкин Я. З. Основы обучающих систем. – М.: Изд-во «Наука», 1970. – 252 с.
7. Антипенко В. С., Галкин К. В. Оптимальное управление запасами для спецтехники // «Грузовик». – 2011. – № 11. – С. 29–31. [Электронный ресурс]: <https://www.mashin.ru/files/2011/gz1111.pdf>. Доступ 23.04.2020.
8. Антипенко В. С., Галкин К. В., Шарипова Е. В., Безруков А. В. Управление запасами запасных частей и принадлежности методами информационных технологий // Известия МГТУ МАМИ. – 2007. – № 2 (4). – С. 133–136. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/inventory-management-of-spare-parts-and-accessories-using-information-technologies/pdf>. Доступ 23.04.2020.
9. Радионов А. Р., Радионов Р. А. Менеджмент: нормирование и управление производственными запасами и оборотными средствами предприятия: Учеб. пособие. – М.: Экономика; Казань: ГУП ПИК Идел-Пресс, 2005. – 614 с.
10. Бородин Н. Н. Современные технологии и система управления ресурсами предприятий. – Тула: Изд-во Тул. гос. пед. ун-та им. Л. Н. Толстого, 2004. – 113 с.
11. Мерфи П. Р., Вуд Д. Ф. Современная логистика. – 8-е изд. / Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2017. – 720 с. ●

### Информация об авторах:

**Антипенко Виталий Сафронович** – доктор технических наук, профессор Академии базовой подготовки Российского университета транспорта, Москва, Россия, [Antipenkovs7@mail.ru](mailto:Antipenkovs7@mail.ru).

**Бабич Николай Сергеевич** – аспирант Российского университета транспорта, Москва, Россия, [babitch.col@yandex.ru](mailto:babitch.col@yandex.ru).

**Галкин Константин Владимирович** – инженер ПТО ООО «ДЕФШОВ», Москва, Россия, [galkin\\_kostya@bk.ru](mailto:galkin_kostya@bk.ru).

Статья поступила в редакцию 23.04.2020, актуализирована 04.12.2020, одобрена после рецензирования 05.02.2021, принята к публикации 23.04.2021.

# T



## МЕЖДУНАРОДНЫЕ АВТОПЕРЕВОЗКИ 70

*Нейтрализация транспортных документов: причины и риски.*



## ДВИЖЕНИЕ В ГОРОДЕ 79

*Пример комплексного подхода к решению проблемы на одной улице в отдельном городе.*



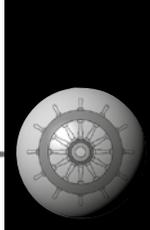
## КОМБИНИРОВАННЫЕ ПЕРЕВОЗКИ 84

*Практическая значимость и важность гармонизации самого понятия.*



### ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ





# Нейтрализация транспортных документов на автомобильном транспорте



Милош ПОЛЯК



Наталья ЛАХМЕТКИНА

*Милош Поляк<sup>1</sup>, Наталья Юрьевна Лахметкина<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Жилинский университет, Жилина, Словакия.

<sup>2</sup> Российский университет транспорта, Москва, Россия.

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

## АННОТАЦИЯ

В 1956 году в развитии международных грузовых автомобильных перевозок произошло значительное событие – заключение Конвенции о договоре международной перевозки грузов автомобильным транспортом (КДПГ), основной целью которой было унифицировать правила международных перевозок грузов и тем самым способствовать развитию международной торговли. С практической точки зрения это было очень важно для перевозчиков и транспортных компаний. Конвенция описывает главный документ при перевозке грузов – накладную КДПГ.

В последнее время при упоминании накладной КДПГ используется термин «нейтрализация», который рассматривается как вмешательство в систему обращения транспортных документов, цель которого – скрыть фактическое движение груза во время перевозки. При этом нейтрализация накладной не столько противоречит правовым нормам, сколько может привести к нежелательным последствиям для перевозчиков.

По этой причине вопрос о том, можно ли нейтрализовать накладную КДПГ в соответствии с действующими правилами и не нарушает ли нейтрализация накладной КДПГ функциональность существующей системы, является актуальным. Поэтому целью настоящей работы является исследование причин и способов нейтрализации накладных КДПГ, а также вариантов обращения с нейтрализованными накладными.

Учитывая, что нейтрализация накладной стала относительно распространённой практикой и означает обмен оригинальными накладными или транспортными документами с другими накладными или транспортными документами, аннулирующий действия первой накладной, в статье авторами на основе собственного исследования выявлены возможности использования нейтрализации накладной КДПГ на практике для определённых видов грузов, маршруты наиболее частого использования, а также риски указанных процедур на автомобильном транспорте.

Ключевые слова: транспорт, договор, документ, Конвенция о договоре международной перевозки грузов автомобильным транспортом (КДПГ), нейтрализация документа, параллельная торговля.

Для цитирования: Поляк М., Лахметкина Н. Ю. Нейтрализация транспортных документов на автомобильном транспорте // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 2 (93). С. 70–78. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-10>.

Благодарности. Данная работа была проведена при поддержке проекта: ВЕГА № 1/0245/20 М. Поляк. Определение влияния изменения транспортного законодательства на конкурентоспособность перевозчиков и безопасность перевозок.

Полный текст статьи, изначально представленной на английском языке, публикуется во второй части данного выпуска.

*The full text of the article originally written in English is published in the second part of the issue.*

## ВВЕДЕНИЕ

Очевидно, что транспорт в современном мире – важнейшая потребность человечества и основополагающий фактор для нормального функционирования экономики. В ЕС в силу различных причин (качественная и плотная дорожная сеть, гибкость, скорость, удобство, адаптируемость и т. д.) автомобильный транспорт постепенно занял доминирующее положение [1; 2]. Перевозка грузов в международных масштабах возможна только на основании заключения договора перевозки [3; 4]. Заключение такого договора было бы значительно сложнее, если бы не действовала Конвенция о договоре международной перевозки грузов автомобильным транспортом (КДПГ). Все перевозчики должны были бы работать в соответствии с особенностями национальных правил государств, через которые провозились бы грузы. В 1956 году в Женеве была заключена Конвенция КДПГ. Целью Конвенции является стандартизация условий, регулирующих договор перевозки грузов при трансграничной перевозке. Накладная КДПГ играет важнейшую роль в таких перевозках. Этот документ одновременно является документом о заключении договора перевозки и документом о принятии груза перевозчиком [5].

Определения термина «нейтрализация накладной КДПГ» нет ни в Конвенции КДПГ, ни в других законодательных документах.

Цель данной статьи – обозначить, какие процедуры с точки зрения транспортных документов и ответственности договаривающихся сторон имеют место при нейтрализации документов. Существует предположение, что при нейтрализации документов одной из договаривающихся сторон наносится ущерб или одна из договаривающихся сторон принимает на себя больший риск в стандартных договорных отношениях. В статье авторами на основе собственных исследований сформулированы предложения, которые помогли бы договаривающимся сторонам выявлять и предотвращать нейтрализацию документов, если эта процедура может нанести ущерб чьим-либо правам.

### Анализ текущего состояния

Заключение договора международной перевозки было бы значительно сложнее в отсутствие Конвенции КДПГ. В этом случае

перевозчик должен был бы знать все нюансы национальных правил перевозки стран, в которые он хотел бы перевезти груз [6]. При заключении договоров, включая досудебные претензии к перевозчику, возникало бы недопонимание из-за различий в законодательстве между странами и из-за их непоследовательного толкования [4]. Поэтому в Женеве 19 мая 1956 г. была принята Конвенция КДПГ. Основная цель этой Конвенции – унифицировать правила международных автомобильных перевозок грузов, тем самым способствуя развитию международной торговли. С практической точки зрения это имеет большое значение для перевозчиков и транспортных компаний, поскольку в отсутствие этой Конвенции все регулировалось бы национальными правилами [7]. В 1978 году в Женеве были внесены поправки в Протокол к Конвенции, регулирующий ст. 23, которая описывает правила компенсации за ущерб [8]. Позже в 2008 году Конвенция была также дополнена Дополнительным протоколом – поправкой, касающейся электронной накладной.

Международная перевозка – это перевозка, при которой место погрузки находится в стране, отличной от места разгрузки [9]. Конвенция КДПГ может применяться для международной перевозки грузов только в том случае, если место погрузки или место разгрузки находится в государстве-участнике Конвенции КДПГ [10; 11]. Есть три исключения, когда невозможно заключить договор перевозки в соответствии с Конвенцией КДПГ, даже если это международная перевозка [12; 13]. Конвенция не распространяется на перевозку почтовых отправлений, умерших лиц и мигрирующих грузов. Основная причина, по которой эти грузы не могут перевозиться в соответствии с Конвенцией КДПГ, заключается в том, что невозможно объективно определить стоимость отправки и, таким образом, определить ответственность перевозчика за перевозку [14]. Конвенция была постепенно ратифицирована отдельными европейскими странами, но неевропейские страны также являются договаривающимися сторонами. В настоящее время 56 стран подписали Конвенцию КДПГ, из которых только 45 ратифицировали Протокол к Конвенции [15]. Страны-участницы перечислены в табл. 1. В первом столбце перечислены страны, которые приняли Конвенцию и Протокол к Конвенции. Во втором столбце указа-



Таблица 1

**Государства-участники  
Конвенции КДПП\***

Конвенция КДПП и Протокол	Только Конвенция КДПП
Франция, Австрия, Нидерланды, Германия, Италия, Польша, Бельгия, Люксембург, Дания, Соединённое Королевство Великобритании и Северной Ирландии, Норвегия, Швеция, Португалия, Швейцария, Венгрия, Румыния, Финляндия, Испания, Греция, Российская Федерация, Ирландия, Словения, Хорватия, Литва, Беларусь, Эстония, Республика Молдова, Словакия, Чешская Республика, Латвия, Тунис, Турция, Узбекистан, Туркменистан, Северная Македония, Кыргызстан, Иран, Грузия, Кипр, Ливан, Армения, Албания, Мальта, Иордания, Пакистан	Болгария Босния и Герцеговина Марокко Казахстан Таджикистан Сербия Монголия Азербайджан Черногория Украина Сирийская Арабская Республика

Составлено авторами на основе Собрания договоров ООН.

\*Текст Конвенции: [https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/conventn/cmr\\_e.pdf](https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/conventn/cmr_e.pdf).

ны страны, которые участвуют только в Конвенции КДПП.

Конвенция КДПП регулирует правила, права и обязанности, ответственность перевозчика и транспортной компании. Она регулирует заключение и выполнение договоров перевозки, а также процедуры требования возмещения убытков [16]. В ней описывается, что должны содержать сопроводительные документы для перевозки [17]. Также приводится самый важный документ при международных перевозках грузов – накладная КДПП (официальный документ стандартизированной формы на двух языках) [18–20]. Накладная составляется в трёх экземплярах, подписанных отправителем и перевозчиком [21]. Первый, красный экземпляр принадлежит отправителю и служит доказательством, что груз передан перевозчику для перевозки. Второй, синий экземпляр передаётся получателю груза, чтобы тот знал, что и в каком количестве должен принять у перевозчика. Третий, зелёный экземпляр остаётся у перевозчика и является доказательством того, что груз был передан получателю, что подтверж-

дается соответствующими подписями сторон [22]. Если не доказано иное, накладная является достоверным доказательством заключения и содержания договора перевозки, а также принятия груза перевозчиком. Если накладная не содержит объяснения причин со стороны перевозчика, юридическая презумпция состоит в том, что груз и его упаковка находились в хорошем состоянии на момент приёма перевозчиком и что количество мест, их маркировка и номера соответствовали сведениям накладной [23; 14].

Ответственность перевозчика начинается с момента приёма груза к перевозке и заканчивается с момента передачи груза получателю [24; 25]. Перевозчик несёт ответственность за повреждение или утерю груза во время транспортировки, а также за превышение срока доставки. Согласно положениям Конвенции КДПП, перевозчик должен возместить любую потерю отправления, возникшую с момента его принятия к перевозке до момента его доставки [26]. Возврат рассчитывается исходя из стоимости отправления в месте и в момент приёма его к перевозке. Стоимость партии определяется биржевой ценой, если не биржевой, то текущей рыночной ценой, а если не биржевой и не рыночной ценой, то общей стоимостью товаров того же характера и качества [27]. Конвенция КДПП предусматривает, что ущерб не может превышать фиксированную сумму за килограмм недостающего веса брутто. В первоначальной версии Конвенции КДПП размер ущерба не мог превышать 25 франков за килограмм недостающего веса брутто. Под франком подразумевается золотой франк весом 10/31 грамма и чистотой 0,900 [15]. Это ограничение ответственности в настоящее время применяется в 11 странах, не ратифицировавших протокол к КДПП. Другие страны значительно снизили ответственность перевозчиков, заменив золотой франк единицей, называемой «специальными правами заимствования» (СПЗ / SDR). Перевозчик обязан возместить владельцу перевозимого груза 8,33 СПЗ за каждый килограмм повреждённого, уничтоженного или утерянного груза. Конкретная стоимость зависит от обменных курсов СПЗ и евро [28–30]. Перевозчик также должен покрыть транспортные, таможенные и другие расходы, связанные с перевозкой груза. Эта стоимость также покрывается страховкой ответственности перевозчика. Однако, если в накладной КДПП указана цена отпав-

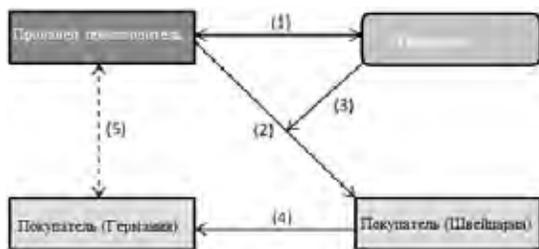


Рис. 1. Схема нейтрализации накладной КДПГ при параллельной торговле (выполнена авторами).

ления или особая заинтересованность отправителя в доставке, в этом случае перевозчик несёт ответственность за полную стоимость указанного таким образом груза. В случае полной потери груза перевозчик должен оплатить полную стоимость товара, а также импортные сборы, таможенные пошлины, НДС, акцизные сборы и т.д. Если эта стоимость превышает сумму страхового покрытия ответственности перевозчика, вытекающей из Конвенции КДПГ, перевозчик должен застраховать такие грузы [31]. В особенности это касается лёгких и дорогих товаров. Если срок доставки превышен, и получатель докажет, что ему был нанесён ущерб, перевозчик обязан вернуть оплату за доставку.

Приведённый выше анализ подтверждает, что Конвенция КДПГ является важным правовым стандартом для перевозчиков и транспортных компаний. Накладная КДПГ представляет собой надёжный документ для перевозчика и для транспортной компании. Накладная КДПГ также является надёжным документом и для третьих лиц, например, для таможни, страховых компаний и т.д. По этой причине следует дополнительно рассмотреть вопрос о том, можно ли нейтрализовать накладную КДПГ в соответствии с действующими правилами и не нарушает ли нейтрализация накладной КДПГ функциональность существующей системы.

### Исследование принципа нейтрализации накладной КДПГ и её причин

Нейтрализация документа – это процесс, известный только транспортному сектору. Авторы статьи не смогли найти его определения ни в каких законодательствах или стандартах. Тем не менее, этот термин известен и используется уже несколько лет при перевозке автомобильным транспортом. Слово «нейтрализация» имеет несколько значений. Как правило, оно также означает «отзыв» [32]. При транспортировке нейтрализация означает обмен оригинальных накладных или транспорт-

ных документов с другими накладными или транспортными документами. Следовательно, нейтрализация представляет собой аннулирование действия первой накладной [33].

Нейтрализация транспортных документов в большинстве случаев связана с незаконной логистической деятельностью, называемой «параллельной торговлей». Параллельная торговля определяется как торговля товарами вне официальной продажи и осуществляемая определённой компанией [32; 34]. Посредством своего собственного распространения компании могут создавать разницу в ценах в разных странах, используя национальные различия в поведении потребителей. «Параллельные» торговцы покупают товары в странах, где они продаются по более низким ценам, а затем продают их в странах с более высокими ценами. Изделие не подделано, а импортировано из страны без разрешения владельца интеллектуальной собственности.

Нейтрализацию накладной в параллельной торговле можно пояснить на следующем рис. 1.

Пояснения к схеме следующие:

(1) Коммерсант заключает соглашение с продавцом (например, производителем в Германии), что он будет распространять его продукт в стране, где этот продукт в настоящее время не продаётся (например, в Швейцарии), если ему предложат более низкую цену, чем его первоначальная продажная цена – за счёт продвижения на новом рынке.

(2) Составлена накладная КДПГ, в которой в качестве отправителя указывается производитель, а в качестве покупателя указывается компания, зарегистрированная в Швейцарии.

(3) После начала перевозки груза водитель получает команду на нейтрализацию накладной КДПГ. Он останавливает автомобиль, например, на заправке и нейтрализует накладную КДПГ.

(4) В новой накладной отправителем указана швейцарская компания, а получателем является немецкая компания. Коммерсант продаёт эти товары в Германии по гораздо





более высокой цене, чем та, по которой он их купил, (5) в то время как производитель не знает, что его товары продаются в Германии, где он уже продаёт эти товары.

Целью нейтрализации накладной должно быть обеспечение деловой тайны, когда торговец хочет помешать получателю узнать производителя и условия покупки. На основании теоретических исследований можно выделить следующие причины нейтрализации накладной:

*Причина А* – когда коммерсант не хочет, чтобы производитель узнал, кто покупает товар. В этом случае водитель загружает товар в транспортное средство и выписывает накладную КДПГ с указанием отправителя и первоначального получателя. Через некоторое время водителю будет дана инструкция нейтрализовать и выписать новые документы с указанием другого грузополучателя.

*Причина В* – когда коммерсант не хочет, чтобы покупатель знал, где производится товар. Водитель загружает товар в транспортное средство, и накладная отправляется на склад получателя с указанием места погрузки, отличного от фактического. В случае проверки на дороге водитель оформляет накладную с указанием фактического места погрузки и разгрузки отправления. Однако конечный покупатель получит документы, в которых место погрузки отличается от фактического, поэтому он не будет знать, кто является фактическим производителем товара.

*Причина С* – никто ничего не знает, то есть производитель не знает, где находится товар, а конечный покупатель не знает, откуда этот товар. Это тот случай, когда водитель загружает товар в транспортное средство и выписывает накладную, которая хранится на складе отправления. Позже водитель получит указание нейтрализовать её и выдаст новую накладную с указанием фактического отправителя, но нового получателя. Впоследствии, перед тем как прибыть к новому получателю, водитель должен выписать третью накладную, в которой отправитель отличается от фактического отправителя и нового получателя, указанного во второй накладной.

Исходя из этого, можно утверждать, что существует до трёх способов нейтрализации транспортных документов. В следующей части мы провели исследование, основанное на теоретическом выявлении проблемы нейтрализации транспортных документов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Для сбора информации о нейтрализации накладной КДПГ был проведен опрос в электронном виде в программе «Google Forms». После создания опросника было проведено предварительное тестирование, чтобы убедиться, что вопросы достаточно понятны. Позже эта анкета была разослана общественности на дискуссионных форумах, затем повторно рассмотрена через социальные сети и добавлена в специальные группы для участников автомобильного грузового транспорта (перевозчиков). В опросе приняли участие 190 респондентов.

Анкета содержала три вопроса. Первый вопрос определял, есть ли у перевозчиков (водителей) опыт нейтрализации накладной КДПГ. Второй определял виды товаров, на которые чаще нейтрализовали накладную КДПГ. Последний вопрос выяснял, на каких маршрутах использовалась нейтрализация накладной (страна отправки и страна назначения). Анкетный опрос проводился для получения базовой информации о возможности использования нейтрализации накладной КДПГ на практике и о том, для каких грузов она чаще всего проводится. Также мы хотели выяснить, если у перевозчиков есть реальный опыт нейтрализации транспортных документов, то какие страны в таких случаях указываются в полях отправителя и получателя в накладной КДПГ.

Результаты исследования подтвердили наше предположение, что перевозчики имеют опыт нейтрализации накладной КДПГ. Результаты опроса показывают, что до 66 % опрошенных перевозчиков (водителей) уже имели опыт нейтрализации, 34 % не имели такого опыта или никогда не сталкивались с процессом нейтрализации накладной КДПГ. Хотя в специальной литературе не встречается описания нейтрализации накладной КДПГ, следует отметить, что перевозчики довольно часто сталкиваются с такой практикой.

Вторая часть исследования касалась вопроса о том, какие товары чаще других требуют от отправителя или получателя нейтрализации транспортных документов. Результаты исследования представлены в табл. 2, где описаны различные категории товаров, указанные перевозчиками как перевозимые, которые были внесены в накладную КДПГ в графе 9 «Маркировка товаров» в случае нейтрализации накладной. Можно отметить, что документы

**Доля перевезённых грузов в Словакии и нейтрализованных грузов  
(выполнено авторами)**

Тип грузов	Доля в общем объёме перевозок в Словакии, %	Доля в общем объёме нейтрализованных перевозок, %	Отношение доли перевозок определённого товара к перевозкам с нейтрализованными документами
Вторичные материалы; бытовые и прочие отходы	3,50	21,25	6,0714
Дерево, изделия из дерева и пробки; изделия из соломки и материалов для плетения; целлюлоза, бумага и бумажные изделия	3,52	8,75	2,4858
Текстиль и текстильные изделия; кожаные изделия	0,59	1,25	2,1186
Продукты питания, напитки и табак	8,82	17,50	1,9841
Химикаты, химические продукты и искусственные волокна; резиновые и пластмассовые изделия; ядерное топливо	5,51	7,50	1,3612
Мебель; прочие промышленные товары	2,11	2,50	1,1848
Механизмы и оборудование; офисные машины и компьютеры; электрические машины и аппараты	5,32	6,25	1,1748
Металлические руды и другие продукты горнодобывающей промышленности; изделия из них; дёрн; уран и торий	36,62	27,50	0,7510
Транспортное оборудование	4,67	2,50	0,5353
Оборудование и материалы, используемые при перевозке грузов	3,89	1,25	0,3213
Продукция сельского хозяйства, охоты и лесного хозяйства, рыба и другие рыбные продукты	13,18	3,75	0,2845
Прочие неметаллические минеральные продукты	9,35	0,00	0,0000
Кокс и нефтепродукты	2,44	0,00	0,0000
Уголь и лигнит; нефть и природный газ	0,23	0,00	0,0000
Товары, перевозимые при переезде дома и офиса; багаж	0,14	0,00	0,0000
Неидентифицируемые, прочие товары	0,12	0,00	0,0000
Всего	100%	100 %	–

нейтрализуются на разные виды товаров. В таблице также содержится информация о процентном соотношении отдельных категорий перевозимых товаров в Словакии (информация от EUROSTAT). Однако это исследование показывает, что наибольшая нейтрализация связана с транспортировкой металлических руд и металлических изделий (27,5%), которые представляют собой наиболее перевозимую категорию товаров в Словацкой Республике (36,62%). При этом 21,25% всех нейтрализованных документов были связаны с транспортировкой отходов. В Словацкой Республике это не часто перевозимый вид товаров, всего 3,5%. На третьем месте – перевозки продуктов питания и напитков, которые составляют почти 18% от общего нейтрализованного перевозимого количества товаров, четвёртого по частоте перевозок грузов в Словакии. Исходя из этого, можно сказать, что нейтрализация, следовательно, не применяет-

ся к конкретным перевозимым товарам и не связана с общим объёмом перевозимых товаров в Словакии (затрагиваются товары как с высокой, так и низкой долей в объёме всех перевозимых товаров).

Однако, если учесть важность нейтрализации транспортных документов на долю перевозки того или иного товара, то наибольшая доля приходится на вторичные материалы, бытовые и другие отходы. На эти перевозки приходится лишь 3,5% от общего объёма перевозок, но до 21,25% от общего объёма перевозок с выявленной нейтрализацией документов (соотношение между процентными показателями достигает коэффициента 6,0714). После этого следует нейтрализация транспортных документов при перевозке: древесины, изделий из дерева и пробки; изделия из соломки и материалов для плетения; целлюлозы, бумаги и бумажных изделий с коэффициентом 2,4858 и тек-



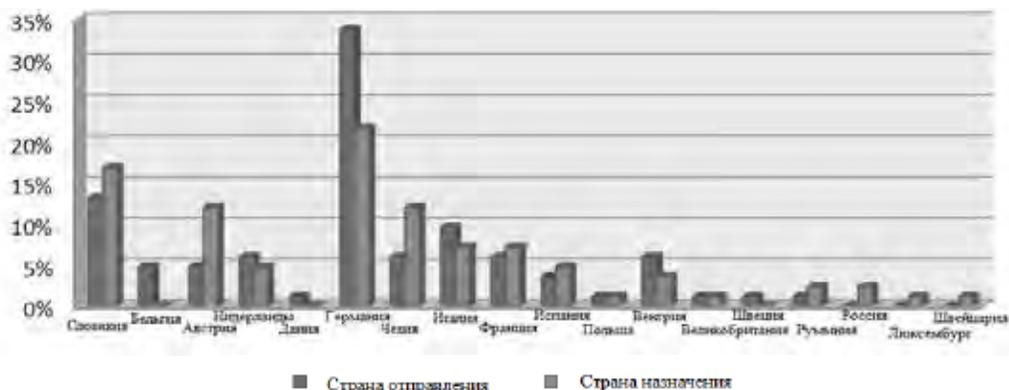


Рис. 2. Страна отправления и страны назначения при нейтрализации транспортных документов (выполнено авторами).

стильных и кожаных изделий с коэффициентом 2,1186.

Последняя, третья, часть исследования была направлена на получение информации о транспортных маршрутах, на которых чаще всего используется процесс нейтрализации. Мы хотели узнать непосредственно у перевозчиков, на каких маршрутах поступал запрос от заказчика на проведение нейтрализации накладной. Поскольку упоминались разные транспортные маршруты, эти маршруты были разделены на страны отправления и страны назначения. Результаты показаны на рис. 2, из которого следует, что Германия является страной, где нейтрализация используется чаще всего. На ФРГ приходится почти 35 % ответов как на страну отправления и 22 %, как на страну назначения. Кроме того, нейтрализация часто используется в Словацкой Республике. Остальные указанные страны упоминались гораздо реже, чем Германия или Словакия.

Это исследование также показало, что нейтрализация используется не только для международных перевозок, но и для внутренних национальных (каботажных) перевозок. 87 % перевозчиков осуществляли нейтрализацию накладной для международных перевозок, остальные 13 % – для внутренних.

### Риски, связанные с нейтрализацией транспортных документов

При нейтрализации транспортных документов, которая существует на практике и описана выше, возникают некоторые риски не только для стороны отправителя, но и для перевозчика. Мы выделили следующие риски:

- **Мошенничество.** Происходит, когда одна сторона обогащается за счёт чужой собственности, вводя другую сторону в заблуждение или используя чужую ошибку. Перевозчик не

может заранее знать, будет ли нейтрализация использована для сокрытия мошенничества с грузоотправителем. Мошенничество в данном случае заключается в обходе региональной ценовой политики или получении неприемлемых скидок. Например, если грузоотправитель запрашивает у производителя более низкую цену на поставку в страны Балтии, чтобы товар можно было разместить на новом рынке. Но товар будет доставлен в Германию. Отправитель вводит производителя в заблуждение, что является нарушением Уголовного кодекса. Этот тип торговли известен как «Параллельная торговля».

- **Нарушение иностранных прав.** Происходит, когда одна сторона причиняет серьёзный вред правам другой стороны, вводя кого-то в заблуждение или используя чью-то ошибку. В соответствии со ст. 12 Конвенции КДПГ продавец имеет право распоряжаться грузом, в частности, требовать от перевозчика перерыва перевозки, изменения места, предусмотренного для сдачи груза, или сдачи груза не тому получателю, который указан в накладной КДПГ. Например, если выясняется, что грузополучатель неплатёжеспособен, продавец имеет право потребовать от перевозчика вернуть груз. Однако, если накладная была нейтрализована сразу после погрузки, отстаивать это право сложно.

- **Риск страхования ответственности перевозчика.** Перевозчик в случае наступления страхового случая должен представить страховой компании оригиналы транспортных документов, связанных с перевозкой, при которой груз или его часть были повреждены. Перевозчик, который по поручению клиента обменивает транспортные документы во время перевозки, выполняет перевозку на иных условиях, чем первоначально оговорено в договоре

перевозки. По мнению нескольких страховых компаний, при нейтрализации транспортных документов они не реализовали бы страховые выплаты. В этой ситуации существует риск со стороны перевозчика, что он осуществит перевозку без страховки.

Помимо этих, существуют и другие риски в области налогового права или каботажных операций, которые мы не будем подробно обсуждать, поскольку они либо на стороне заказчика перевозки, либо на стороне перевозчика, который знает, что транспортные документы нейтрализованы.

## ВЫВОДЫ

Конвенция КДПГ, которая регулирует договор международных грузовых автомобильных перевозок, сегодня является наиболее важным инструментом разделения ответственности между перевозчиком и клиентом. Конвенция КДПГ также определяет те достоверные документы, которые необходимы для выполнения перевозки и которые являются доказательством факта перевозки не только для сторон-участниц, но и для третьих лиц. До 66 % опрошенных перевозчиков подтвердили, что они нейтрализовали транспортные документы по запросу заказчика перевозки. Из наших исследований можно сделать вывод, что нейтрализация применяется не только в перевозке определённого типа товаров. Однако можно утверждать, что проведённые исследования показывают, что документы наиболее часто нейтрализуются при транспортировке вторичных материалов, бытовых и других отходов. Мы также пришли к выводу, что обмен накладной используется на разных транспортных маршрутах. В основном это связано с перевозкой грузов из/в Германию и из/в Словакию. Нейтрализация применяется не только в международных грузовых перевозках, но и во внутренних национальных грузовых перевозках, где могут возникнуть проблемы несоблюдения условий каботажа.

Поскольку «нейтрализация накладной» не является закреплённым документально термином и не определяется никаким законодательством или Конвенцией КДПГ, процедура нейтрализации требует особого рассмотрения. В этой статье мы определили некоторые риски со стороны грузоотправителя и перевозчика. В основном это риски связаны с мошенничеством и нарушением имущественных прав отправителя, со стра-

хованием ответственности перевозчика. Авторы осознают, что есть и другие риски, например, в налоговой сфере. В данной работе представлено предложение по предотвращению нейтрализации накладной КДПГ со стороны отправителя. В случае если отправитель имеет доступ к данным о маршруте перевозки по уникальному номеру накладной КДПГ, возможность нейтрализации транспортных документов ограничена. Точно также с точки зрения налоговых рисков было бы целесообразно предоставлять эту информацию в финансовые органы. Этому вопросу необходимо посвятить дальнейшие исследования.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Čulík, K., Kalašová, A., Kubíková, S. Simulation as an instrument for research of driver-vehicle interaction. In: MATEC Web of Conferences, 2017, Vol. 134, No. 8, pp. 1–8. DOI: 10.1051/mateconf/201713400008.
2. Jurecki, R., Stańczyk, T. Analyzing driver response times for pedestrian intrusions in crash-imminent situations. In: 11<sup>th</sup> International Science and Technical Conference Automotive Safety, 2018, pp. 1–7. DOI: 10.1109/AUTOSAFE.2018.8373339.
3. Defossez, D. CMR: what if the courts got it wrong? Uniform Law Review, 2016, Vol. 21, No. 1, pp. 75–100. DOI: 10.1093/ulr/unw003.
4. Ramberg, J. Unification of the law of international freight forwarding. Uniform Law Review, 1998, Vol. 3, No. 1, pp. 5–13. DOI: 10.1093/ulr/3.1.5.
5. Clarke, M. A. International Carriage of Goods by Road: CMR. CRC Press, sixth edition, 2014. 512 p.
6. Czapski, W. Application et interprétation de la Convention CMR à la lumière du droit international. Uniform Law Review, 2006, Vol. 11, No. 3, pp. 545–567. DOI: 10.1093/ulr/11.3.545.
7. Belohlavek, A. Selected Case Law of Czech Republic on the CMR Convention and New Civil Law in Effect in Czech Republic as of 1 January 2014. CYIL – Czech Yearbook of International Law, 2015, Vol. 6, pp. 231–325. [Электронный ресурс]: [https://papers.ssrn.com/sol3/Delivery.cfm/SSRN\\_ID2618063\\_code1543873.pdf?abstractid=2618063&mirid=1&type=2](https://papers.ssrn.com/sol3/Delivery.cfm/SSRN_ID2618063_code1543873.pdf?abstractid=2618063&mirid=1&type=2). Доступ 27.04.2021.
8. Berlingieri, F. Uniformity in Maritime Law and Implementation of International Conventions. Journal of Maritime Law and Commerce, 1987, Vol. 18, No. 3, 317 p.
9. Gnap, J., Varjan, P., Semanová, S. Logistics of entry and parking of vehicles at large production companies. In: MATEC Web of Conferences, 2017, Vol. 134, No. 16, pp. 1–8. DOI: 10.1051/mateconf/201713400016.
10. Lamont-Black, S. The UK Supreme Court on jurisdiction over successive CMR Convention carriers and European Union rules. Uniform Law Review, 2016, Vol. 21, No. 4, pp. 487–509. DOI: 10.1093/ulr/unw041.
11. Schelin, J. CMR Convention in a law and economics perspective. Uniform Law Review, 2016, Vol. 21, No. 4, pp. 434–440. DOI: 10.1093/ulr/unw036.
12. Quigley, I. Freight Carrier's Liability under the CMR convention 1956. Acta Oeconomica Pragensia, 2006, Vol. 14, No. 4, pp. 41–45. [Электронный ресурс]: <https://aop.vse.cz/pdfs/aop/2006/04/05.pdf>. Доступ 27.04.2021.
13. Radionov, N. Limitation of liability right in road freight carriage in Croatia: an extinct institute. Uniform Law



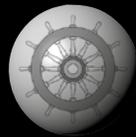
- Review, 2016, Vol. 21, No. 4, pp. 457–468. DOI: 10.1093/ulr/unw035.
14. Haak, K. F. The liability of the carrier under the CMR. Stichting Vervoeradres, 1986, 395 p.
  15. Schwenzer, I. The CISG Advisory Council. Nederlands Tijdschrift voor Handelsrecht (NTHR), 2012, pp. 46–51. DOI: 10.9785/ihr-2017-0509.
  16. Putzeys, J. La CMR-60 ans et plus. Uniform Law Review, 2016, Vol. 21, No. 4, pp. 421–425. DOI: 10.1093/ulr/unw034.
  17. Criddle, E. The Vienna Convention on the Law of Treaties in U.S. Treaty Interpretation. Virginia Journal of International Law, 2004, Vol. 44, No. 2, pp. 431–500. [Электронный ресурс]: <https://scholarship.law.wm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2561&context=facpubs>. Доступ 27.04.2021.
  18. Hendrikse, M. L., Van Huizen, P. H. J. G. CMR: Internationaal Vervoer Van Goederen over de Weg. NTHR-reeks, 2006, 322 p.
  19. Mutz, G. La révision 1999 de la Convention relative aux transports internationaux ferroviaires (COTIF). Etudes Offertes A Barthélemy Mercadal, 2002, 558 p.
  20. Sturley, M. F. International uniform laws in national courts: The influence of domestic law in conflicts of interpretation. Virginia Journal of International Law, 1987, Vol. 27, pp. 729–802. [Электронный ресурс]: <https://law.utexas.edu/faculty/publications/1987-International-Uniform-Laws-in-National-Courts-The-Influence-of-Domestic-Law-in-Conflicts-o>. Доступ 27.04.2021.
  21. Keijser, L. Ondervervoer – Opvolgend vervoer (artikel 3–34 e.v. CMR). European Transport Law, 2007, 331 p.
  22. Sker, T. Analysis of Road Carriers Liability for Robbery of Cargo According to CMR Convention. Promet-Traffic-Traffic, 2003, Vol. 15, No. 6, pp. 371–374.
  23. Anastasiadou, I. In search of a railway Europe: transnational railway developments in interwar Europe. Doctoral Thesis, Technische Universiteit Eindhoven, 2009, 221 p.
  24. Haak, K. F. Uniformiteit, Quo Vadis? Boom Juridische uitgevers, Den Haag, 2013, 100 p.
  25. Mutz, G. Le droit de transport international ferroviaire en pleine mutation. Liber Amicorum Jacques Putzeys, 1996, 555 p.
  26. Loewe, R. Commentary on the convention of 19 may 1956 on the contract for the international carriage of goods by road (CMR). European Transport Law, 1976, 11 p.
  27. Lommers, S. The Berne Key: the key to railway harmony. Inventing Europe. 2016. [Электронный ресурс]: <http://www.inventingeurope.eu/governance/the-berne-key-the-key-to-railway-harmony>. Доступ 27.04.2021.
  28. Dörr, O. & Schmalenbach, K. Article 32. Supplementary Means of Interpretation. Vienna convention on the law of treaties: A commentary, 2019, pp. 571–586.
  29. Joshua, K., de Germiny, L. Has the CISG Advisory Council Come of Age. Berkeley Journal of International Law, 2009, Vol. 27, No. 2, pp. 448–496.
  30. Karton, J. D. H., Germiny, L. D. Can the CISG advisory council affect the homeward trend? Vindobona Journal of International Commercial Law and Arbitration, 2009, Vol. 13, pp. 71–90.
  31. Paulin, C. Réflexions sur la distinction entre contrat de transport et contrat de commission de transport. In: Etudes sur le droit de la concurrence et quelques thèmes fondamentaux: mélanges en l'honneur d'Yves Serra Dalloz, Paris, 2006, pp. 325–336.
  32. Stothers, Ch. Parallel Trade in Europe: Intellectual Property, Competition and Regulatory Law. Oxford, Hart Publishing, 2007, pp. 637–639.
  33. Mukherjee, A., Zhao, L. Profitable parallel trade in unionized markets. Journal of Economics, 2012, Vol. 107, pp. 267–276.
  34. Szymonik, A. International logistics, Lodz University of Technology, 2014.
  35. Anderson, R. On the security of digital tachographs. European Symposium on Research in Computer Security. Springer, 1998, pp. 111–125.
  36. Colak, M., Bishop, J., Nordvik, P., Mahieu, V., Loeschner, J. Cryptographic security mechanisms of the next generation digital tachograph system and future considerations. Research Centre Scientific and Policy Report. European Commission, 2012. [Электронный ресурс]: <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC77933>. Доступ 27.04.2021.
  37. Furgel, I., Lemke, K. A review of the digital tachograph system. Embedded Security in Cars, 2006, pp. 69–94.
  38. Baldini, G., Sportiello, L., Chiaramello, M., Mahieu, V. Regulated applications for the road transportation infrastructure: The case study of the smart tachograph in the European Union. International Journal of Critical Infrastructure Protection, 2018, Vol. 21, pp. 3–21.
  39. Lemke, K. Embedded Security: Physical Protection against Tampering Attacks. In: Embedded Security in Cars. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006, pp. 207–217.
  40. Poliak, M., Poliaková, A. Relation of social legislation in road transport on driver's work quality. In: International Conference on Transport Systems Telematics, 2015, pp. 300–310.
  41. Raisch, M. Travaux préparatoires and united nations treaties or conventions: Using the web wisely. Research tips and observations. International Journal of Legal Information, 2002, Vol. 30, No. 2, pp. 324–330.
  42. Rana, A., Sportiello, L. Implementation of security and privacy in epassports and the extended access control infrastructure. International Journal of Critical Infrastructure Protection, 2014, Vol. 7, No. 4, pp. 233–243.
  43. Rychter, M. Function, technology and the level of implementation of the digital tachograph system in EU-AETR and non EU-AETR countries. SAE Technical Paper. The Automotive Research Association of India, 2011. DOI: 10.4271/2011-28-0098.
  44. Sel, M., Karakljic, D. Internet of trucks and digital tachograph – Security and privacy threats. ISSE 2014 Securing Electronic Business Processes: Highlights of the Information Security Solutions Europe 2014 Conference, 2014, pp. 230–238.
  45. Smieja, M., Rygiel, A. Information systems safety in a context of automotive applications. Journal of KONES, 2012, Vol. 19, No. 4, pp. 565–570.
  46. Wildemeersch, M., Slump, C. H., Rabbachin, A. Acquisition of GNSS signals in urban interference environment. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2014, Vol. 50, No. 2, pp. 1078–1091. ●

*Информация об авторах:*

**Поляк Милош** – Ph.D., профессор, декан факультета эксплуатации и экономики транспорта и связи Жилинского университета, Жилина, Словакия, [milos.poliak@fpedas.uniza.sk](mailto:milos.poliak@fpedas.uniza.sk).

**Лахметкина Наталья Юрьевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры логистических транспортных систем и технологий Российского университета транспорта, Москва, Россия, [naturla@mail.ru](mailto:naturla@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 03.03.2021, одобрена после рецензирования 23.04.2021, принята к публикации 05.05.2021.



# Проект организации безостановочного движения по Т-образным перекрёсткам на примере города Тюмени



*Андрей Анатольевич Побединский*  
Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия.  
✉ [vm993711@ru](mailto:vm993711@ru).

Андрей ПОБЕДИНСКИЙ

## АННОТАЦИЯ

Постоянный рост числа легковых и грузовых автомобилей в моногородах заставляет инженеров-проектировщиков автомобильных дорог находить пути, по которым всем участникам движения и пешеходам на перекрёстках было бы удобным передвигаться. Выполнить такие условия – задача сложная, но решаемая, особенно если на всём протяжённом участке дороги имеется большое количество Т-образных перекрёстков. Чаще всего они располагаются вдоль линии железных дорог, тепломагистралей, берегов рек или озёр, парков и т.д. Именно благодаря тому, что нет прилегающих дорог, можно обеспечить непрерывное движение автомобилей, но только в одну сторону.

Целью данной работы является обоснование проекта обеспечения беспрепятственного движения на Т-образных перекрёстках автомобилей на примере улицы 50 лет ВЛКСМ в г. Тюмени.

Для решения поставленной цели использовался метод наблюдения, фиксации и анализ работы оптических устройств, регулирующих проезд автомобилей на пере-

крёстках. При новом проектируемом способе проезда не происходит ущемления прав по отношению к другим автомобилистам и пешеходам, поскольку режим работы светофора для остальных проезжих частей в секундах остаётся тот же. Предусматривается система безопасного перехода пешеходов, а также улучшение экологической составляющей города в целом.

Для первоначальной адаптации автомобилистов предлагается использование боковой зелёной вертикальной стрелки, прикреплённой к светофору и сигнальных столбиков, разграничивающих полосы движения, для «небыстрого слияния» с потоком выезжающих со второстепенной дороги. Неоспоримым преимуществом при использовании такого рода проекта являются минимальные затраты на реконструкцию перекрёстков. Исходя из собственных наблюдений, можно утверждать, что данный проект увеличивает трафик автотранспорта, двигающегося из центральной части города в восточную часть в 1,5–1,8 раза.

*Ключевые слова:* транспорт, Т-образный перекрёсток, светофор, разметка, организация движения.

*Для цитирования:* Побединский А. А. Проект организации безостановочного движения по Т-образным перекрёсткам на примере города Тюмени // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 2 (93). С. 79–83. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-11>.

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



## ВВЕДЕНИЕ

От года к году количество продаваемого и регистрируемого автотранспорта на территории России неуклонно растёт. В основном это увеличение происходит в областных центрах и крупных городах страны. Регистрируют как легковые, так и грузовые автомобили, на частные лица и организации. К большому сожалению, транспортные развязки, эстакады, дороги в большинстве городов РФ не успевают справляться с постоянно растущим количеством автотранспорта [1]. Даже после строительства новых развязок, которые должны были повысить пропускную способность, автомобилисты всё равно часто испытывают трудности при проезде того или иного перекрёстка. Иногда такого открытия ждут годами из-за ошибок в расчётах при строительстве, отсутствия финансирования и т. д. И всё это ещё больше усугубляет положение. Очевидно, что нужен вариант, который сочетал в себе минимальную смету расходов, минимальное время строительства или реконструкции на участках дорог, обеспечение безопасного перехода для пешеходов, но при всех этих условиях увеличилась бы пропускная способность автотранспорта [2].

По большей части транспортная инфраструктура г. Тюмени представляет собой сбалансированное движение автомобильных и пешеходных потоков. Нанесена разметка, разграничивающая полосы движений, корректно настроены переключения сигналов светофоров, имеются ровные дорожные покрытия, новые и строящиеся надземные пешеходные переходы и др. Несмотря на развитую концепцию передвижений автотранспортных потоков, в данном городе всё равно существуют проблемы с заторами на перекрёстках, в основном в центральной его части. На основе опыта других городов [3–6; 10; 15] эти проблемы, как правило, предлагается решить с помощью увеличения числа и расширения проезжих частей, дополнительного строительства дорог второго уровня (выше основной дороги), использования реверсивного движения, регулируемого в зависимости от нарастающих потоков автотранспорта в разное время суток.

А как быть, если проезжая часть расширена до своего максимального предела, а строительство дорог второго уровня и реверсивное движение не представляются возможными из-за ограждений на проезжей

части? Ответом на данный вопрос может послужить то, что необходимо разработать такой проект движения, при котором будет произведено минимальное количество дорожных работ и сметных затрат, но при этом пропускная способность автотранспортных средств будет увеличена.

*Целью* данной статьи является создание типового проекта для Т-образных перекрёстков с возможностью увеличения автомобильного трафика в одном из направлений. В данном случае на примере одной из центральных улиц города Тюмени.

В качестве *методов* исследования принимается изучение автоматической работы управления светофоров и количество единиц автотранспорта, передвигающихся на Т-образных перекрёстках из центральной части города в восточную.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Исходные условия

В качестве примера предлагается рассмотреть улицу 50 лет ВЛКСМ, исходящую из улицы Запольной и заканчивающуюся на перекрёстке с улицей Монтажников. Примечателен тот факт, что данная улица соединяет центр города с его восточной частью. Именно в восточной части города активно ведётся строительство новых спальных микрорайонов, а в центральной части сосредоточены университеты, торговые центры, места отдыха и т. д., – в связи с этим акцент сделан на данный участок улично-дорожной сети.

Улица 50 лет ВЛКСМ в Тюмени является дублирующей другой центральной улицы – ул. Республики, поэтому увеличение пропускной способности в этом районе является крайне важным для всего города. Загруженность улицы 50 лет ВЛКСМ иногда даже больше, чем у её дублёра, так как транспортным средствам с разрешённой максимальной массой более 3,5 тонн запрещено передвигаться по ул. Республики в центральной её части. При проведении работ по фиксации времени работы светофора (из центра в восточную часть города) в будни с 7.30 до 19.00 часов было установлено, что зелёный сигнал светофора горит на всех Т-участках от 50 до 60 секунд. За этот промежуток времени в прямом направлении проезжает 45–50 единиц автотранспорта, остальные останавливаются перед запрещающим сигналом светофора. Красный сигнал горит от 35 до 40 секунд



Рис. 1. Схема Т-образного перекрёстка на улице 50 лет ВЛКСМ (выполнена автором).

времени, при этом к стоящим автомобилям всегда добавляются ещё от 2 до 6 машин, подъезжающих со второстепенной дороги.

Большинство перекрёстков на данном участке пути имеет Т-образный вид, как представлено на рис. 1. С небольшими поправками можно сюда отнести и перекрёсток 50 лет ВЛКСМ с улицами М. Горького, Холодильной и Пермякова, их отличие состоит в том, что при движении в направлении с запада на восток есть дополнительная полоса для поворота налево или разворота. Также на этих перекрёстках имеются повороты направо, в районе расположения автосервиса (с пересечением ул. М. Горького) и на заправочную станцию (с пересечением ул. Холодильной и Пермякова). Основываясь на проведённых наблюдениях за передвижением автотранспорта на данных перекрёстках, можно отметить, что количество выезжающих с них на улицу 50 лет ВЛКСМ транспортных средств настолько мало, что можно убрать светофор около автосервиса, заправочных пунктов и сделать выезд, как «с прилегающей территории, разрешающий выполнить поворот только направо».

### Проектные предложения

Для выполнения проектного решения по формированию беспрепятственного движения по улице 50 лет ВЛКСМ в одном из направлений предлагается сделать следующее:

- на всех Т-образных перекрёстках для выезжающих на улицу 50 лет ВЛКСМ установить знаки, разрешающие поворот с левой полосы только налево и разворот с правой полосы только направо;
- движение с востока на запад оставить в прежнем режиме, а именно для двигающихся по крайней правой полосе установить знаки прямо и направо, с левой полосы только прямо;
- в движении с запада на восток города по крайней левой полосе можно выполнить поворот налево и разворот, а крайнюю правую полосу предназначить для движения прямо, за исключением поворотов направо (для автосервиса и заправочных пунктов), если таковые имеются;
- выполнить разметку для пешеходного перехода поперёк ул. 50 лет ВЛКСМ только с одной стороны;



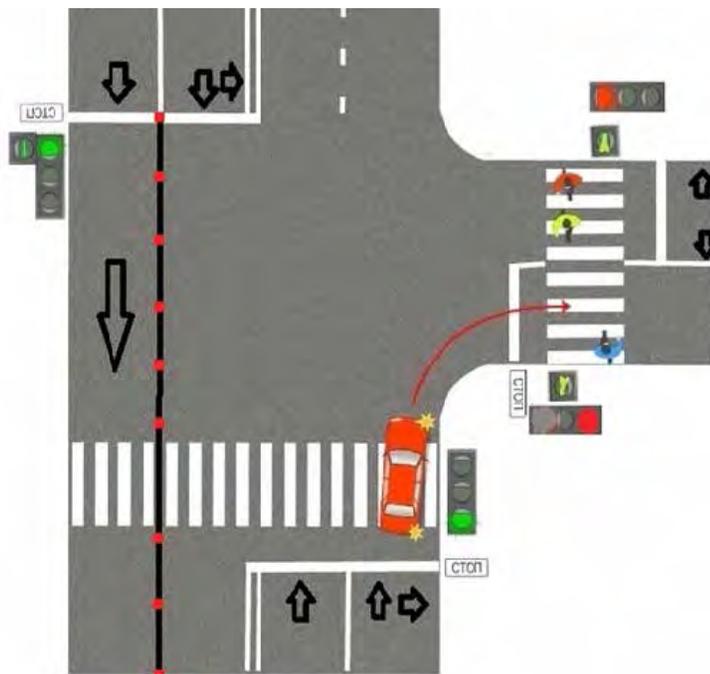


Рис. 2. Примерный типовый проект Т-образного перекрёстка для беспрепятственного движения в одном из направлений (выполнен автором).



Рис. 3. Сигнальные опознавательные столбики.

- установленные светофоры оборудовать специальными кнопками ручного включения для перехода пешеходов через определённый интервал времени, а для проезда и остановки ожидания автотранспорта время предлагается оставить то же самое.

Примерный проектный вариант будет выглядеть, как показано на рис. 2.

Для первоначального введения данного проекта, дабы автомобилисты смогли выработать привычку, можно установить дополнительные знаки [12] перед въездом на перекрёсток и отделить крайнюю правую полосу, к примеру, сигнальными опознавательными столбиками (рис. 3).

## ВЫВОДЫ

При внедрении в практику предложенного проекта проезда Т-образного перекрёстка на всём своём протяжении улицы 50 лет ВЛКСМ при пересечении со второстепенными дорогами можно:

- обеспечить беспрепятственное движение из центра города в его восточную часть, тем самым увеличить среднюю скорость передвижения автотранспорта, включая грузовой транспорт с разрешённой максимальной массой более 3,5 тонн;
- не ущемлять задержкой на запрещающем сигнале светофора других участников автомобильного движения;
- ограничиться минимальной сметой затрат на реконструкцию;
- избежать глобального строительства;
- увеличить автомобильный трафик в 1,5–1,8 раза;
- создать удобные схемы работы пешеходных переходов;
- организовать безопасные условия пешеходных переходов;
- снизить простои автотранспортных средств на перекрёстках, что повлечёт за собой уменьшение выделяемых вредных газов и улучшит экологическую обстановку.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Березовская А. В., Дрейко С. В., Эртман С. А. Применение имитационного моделирования для оптимизации организации дорожного движения на перекрёстке города / В сб.: Новые технологии – нефтегазовому региону. Материалы Всероссийской с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. – 2015. – С. 102–105. [Электронный ресурс]: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_24105190\\_39156014.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_24105190_39156014.pdf). Доступ 22.12.2020.

2. Кальчук Д. Н., Кальчук В. Н., Поздняков М. Н., Селимов А. А. Схема организации лево-поворотного движения на перекрёстке с отнесённым пешеходным переходом // Вестник магистратуры. – 2016. – № 4-1 (55). – С. 46–50. [Электронный ресурс]: [http://www.magisterjournal.ru/docs/VM55\\_1.pdf](http://www.magisterjournal.ru/docs/VM55_1.pdf). Доступ 22.12.2020.

3. Головин О. К., Харитонов Е. Н. Организация дорожного движения на Т-образном перекрёстке / В сб. ИТ & транспорт: Сборник научных статей / Под ред. Т. И. Михеевой. – Самара, 2018. – С. 37–47. [Электронный ресурс]: <http://ittransport.ru/uploads/digests/2018-9.pdf>. Доступ 22.12.2020.

4. Семенихин Б. А., Кузнецова Л. П., Кузнецов Л. Ю. Совершенствование организации дорожного движения на перекрёстке ул. Бойцов 9 дивизии – прт Хрущева, г. Курск // Мир транспорта и технологических машин. – 2019. – № 2 (65). – С. 89–95. [Электронный ресурс]: <http://oreluniver.ru/public/file/archive/MT22019.pdf>. Доступ 22.12.2020.

5. Камалетдинова Д. И., Загидуллин Р. Р. Совершенствование организации дорожного движения на перекрёстке ул. М. Джалиля – ул. Батенчука г. Набережные Челны // Техника и технология транспорта. – 2019. – № 1 (10). – С. 1–7. [Электронный ресурс]: <http://transport-kgasu.ru/files/N10-09ODD119.pdf>. Доступ 22.12.2020.

6. Калмыков Б. Ю., Калмыков М. Б., Сапрунова Ю. С. Предложения по организации дорожного движения на перекрёстке просп. Ленина – ул. Максима Горького г. Донецка Ростовской области // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 2 (53). – 12 с. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/predlozheniya-po-organizatsii-dorozhnogo-dvizheniya-na-perekrestke-prosp-lenina-ul-maksima-gorkogo-g-donetska-rostovskoy-oblasti/pdf>. Доступ 22.12.2020.

7. Михеева Т. И., Михеев С. В. Исследование методов локального управления транспортными потоками // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. Сер. «Актуальные проблемы радиоэлектроники». – Самара: СГАУ, 2003. – С. 24–30. [Электронный ресурс]: [http://repo.ssau.ru/bitstream/Vestnik-SGAU-Aktualnye-problemy-radioelektroniki/Issledovanie-metodov-lokalnogo-upravleniya-transportnymi-potokami-65364/1/apr\\_2003\\_5.pdf](http://repo.ssau.ru/bitstream/Vestnik-SGAU-Aktualnye-problemy-radioelektroniki/Issledovanie-metodov-lokalnogo-upravleniya-transportnymi-potokami-65364/1/apr_2003_5.pdf). Доступ 22.12.2020.

8. ГОСТ Р 52282-2004. Технические средства организации дорожного движения. Светофоры дорож-

ные. Типы и основные параметры. Общие технические требования. Методы испытаний. [Электронный ресурс]: [znaytovar.ru/gost/2/GOST\\_R\\_522822004\\_Texnicheskie.html](https://znaytovar.ru/gost/2/GOST_R_522822004_Texnicheskie.html). Доступ 22.12.2020.

9. ОДМ 218.6.003-2011. Методические рекомендации по проектированию светофорных объектов на автомобильных дорогах. [Электронный ресурс]: <https://www.docs.cntd.ru/document/1200098292>. Доступ 22.12.2020.

10. Кликовштейн Г. И., Афанасьев М. Б. Организация дорожного движения: Учеб. для вузов / 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 2001. – 247 с. [Электронный ресурс]: [https://www.studmed.ru/klinkovshtheyngi-organizaciya-dorozhnogo-dvizheniya\\_bcl1a40781bc.html](https://www.studmed.ru/klinkovshtheyngi-organizaciya-dorozhnogo-dvizheniya_bcl1a40781bc.html). Доступ 22.12.2020.

11. Российская Федерация. Федеральный закон «О безопасности дорожного движения» № 196-ФЗ от 10.12.1995 г. (ред. от 27.12.2018 г.). [Электронный ресурс]: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_8585](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8585). Доступ 22.12.2020.

12. Смирнов А. Дорожные ограждения. [Электронный ресурс]: <https://www.svoizabor.ru/territoriya/dorozhnye-ograzhdeniya.html>. Доступ 22.12.2020.

13. Булавина Л. В. Экспериментальное изучение характеристик транспортного и пешеходного движения: Методические указания к лабораторным и практическим работам по курсу «Городской транспорт и организация движения» / Под науч. ред. доц., канд. техн. наук А. П. Захарова. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. – 30 с. [Электронный ресурс]: [http://xn--80aajce2a9bkv.xn--plai/uploadedFiles/files/2009\\_MU\\_Harakteristiki\\_transp\\_i\\_pesh\\_dvigeniya.pdf](http://xn--80aajce2a9bkv.xn--plai/uploadedFiles/files/2009_MU_Harakteristiki_transp_i_pesh_dvigeniya.pdf). Доступ 22.12.2020.

14. Якимов М. Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов. – М.: Логос, 2013. – 188 с. [Электронный ресурс]: <http://simulation.su/uploads/files/default/2013-yakimova-monography-1.pdf>. Доступ 22.12.2020.

15. Михеева Т. И., Михайлов Д. А., Михеев С. В., Богданова И. Г. Прогнозирование интенсивности движения на автомобильных дорогах мегаполиса // Труды Международной научно-техн. конференции Перспективные информационные технологии. Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С. П. Королева. – Самара: Издательство СНИЦ РАН, 2013. – С. 254–257. [Электронный ресурс]: [http://repo.ssau.ru/bitstream/Perspektivnye-informacionnyetehnologii/Prognozirovanie-intensivnosti-dvizheniya-na-avtomobilnyh-dorogah-megapolisa-59470/1/pit\\_2013\\_itt\\_19.pdf](http://repo.ssau.ru/bitstream/Perspektivnye-informacionnyetehnologii/Prognozirovanie-intensivnosti-dvizheniya-na-avtomobilnyh-dorogah-megapolisa-59470/1/pit_2013_itt_19.pdf). Доступ 22.12.2020.

16. ГОСТ 32965-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Методы учёта интенсивности движения транспортного потока. [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/1200132267>. Доступ 22.12.2020.

17. ГОСТ 32944-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Пешеходные переходы. Классификация. Общие требования. [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/1200138623>. Доступ 22.12.2020. ●

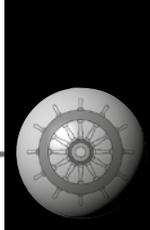
### Информация об авторе:

**Побединский Андрей Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры лесного хозяйства, деревообработки и прикладной механики Государственного аграрного университета Северного Зауралья, Тюмень, Россия, [vt993711@ru](mailto:vt993711@ru).

Статья поступила в редакцию 05.12.2019, актуализирована 23.12.2020, одобрена после рецензирования 30.12.2020. принята к публикации 26.04.2021.

От редакции. Несмотря на то, что исследование носило прикладной и локальный характер, не претендует на обобщения, представляется, что именно в силу максимально конкретной направленности, его результаты могут представлять интерес и быть масштабированы ввиду схожести испытываемых проблем во многих сопоставимых по транспортной загруженности городах.





## Структурно-содержательная характеристика объекта комбинированных перевозок



Олег ЛАРИН

*Олег Николаевич Ларин*

*Российский университет транспорта, Москва, Россия.*

✉ [larin\\_on@mail.ru](mailto:larin_on@mail.ru).

### АННОТАЦИЯ

Представлены результаты сравнительного анализа равнозначности структурно-содержательной характеристики отдельных терминов по комбинированным перевозкам, которые используются в различных официальных нормативных документах. Различия в дефинициях специальных терминов в данной предметной области часто препятствуют эффективной интеграции транспортных систем на межрегиональном и международном уровнях. В настоящем исследовании сделан акцент на анализе характеристик структур-

ных компонентов объекта комбинированных перевозок, которые содержатся в определениях данного термина в ряде международных соглашений, национальных нормативных актах и межгосударственных стандартах. На основе полученных результатов исследования сформулированы предложения по унификации структурно-содержательной характеристики объекта комбинированных перевозок, а также рекомендации по совершенствованию на этой основе отдельных нормативных документов.

Ключевые слова: транспорт, мультимодальные перевозки, интермодальные перевозки, комбинированные перевозки, международные соглашения о комбинированных перевозках, объекты комбинированных перевозок.

Для цитирования: Ларин О. Н. Структурно-содержательная характеристика объекта комбинированных перевозок // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 2 (93). С. 84–92. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-12>.

Благодарности. Основные положения данного исследования первоначально были представлены на Советствии экспертов Комиссии Организации сотрудничества железных дорог по грузовым перевозкам, которое состоялось в июле 2020 г. и было посвящено актуальным вопросам организации комбинированных перевозок в международном сообщении. Автор выражает благодарность организаторам Советствия за предоставленную возможность принять участие в обсуждении современных направлений совершенствования организационных и технологических аспектов осуществления комбинированных перевозок, что позволило улучшить отдельные положения настоящего исследования.

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

## ВВЕДЕНИЕ

Транспорт играет решающую роль в обеспечении устойчивого социально-экономического развития любого государства. При этом данный тезис имеет особое значение для стран Европы и Азии. Ещё с древних времён надёжные и эффективные коммуникации разных видов транспорта являлись главным условием расширения международного и межрегионального торгового и гуманитарного сотрудничества между странами Евразийского континента. Ярким примером ключевой роли сухопутных трансконтинентальных маршрутов в налаживании такого сотрудничества является Великий Шёлковый путь, который активно использовался в древние времена и стремительно возрождается в последние годы на новой современной технической, технологической и организационной основе.

При этом всё больше стран континента заинтересованы в развитии преимущественно сухопутных международных сообщений с использованием нескольких видов транспорта при доминирующем участии железнодорожного. Достаточно отметить востребованность новых железнодорожных маршрутов возрождаемого Шёлкового пути для внешнеторговых сообщений, о чем свидетельствуют высокие темпы роста объёмов перевозок и количества контейнерных поездов, следующих транзитом через страны Евразийского экономического союза, прежде всего, Казахстан, Россию и Беларусь.

Важнейшим условием дальнейшего повышения эффективности международных сухопутных сообщений является упрощение трансграничных торговых, таможенных и транспортных процедур на основе применения системы единообразных национальных и межгосударственных стандартов и правил, в которых должны употребляться унифицированные по содержанию и смыслу профессиональные понятия и термины [1]. При этом вводимая в оборот терминология должна максимально корректно идентифицировать и интерпретировать сущность определяемых явлений и процессов в соответствующих сферах деятельности: экономике, технике, праве и т.п.

Необходимость унификации транспортной терминологии на межгосударственном уровне обусловлена также и тем, что закреплённые в соответствующих соглашениях правовые категории затем имплементируются в законодательство отдельных государств или межрегиональных объединений. В качестве примера можно привести Конвенцию о международных смешанных перевозках, которая была принята по линии ООН

в 1980 году (далее – Конвенция), но до сих пор не вступила в силу [2]. Тем не менее, Конвенция, пусть номинально, то есть не юридически, а только фактически, закрепила за отдельными профессиональными терминами определённое значение и смысловое содержание. Затем соответствующая терминология начала активно использоваться экспертным и профессиональным сообществом в деловом обороте и научных исследованиях, а в некоторых странах уже вошла в законодательные акты. В частности, страны АСЕАН приняли Рамочное соглашение по мультимодальным перевозкам, которое во многом основано на положениях упомянутой выше Конвенции. Поэтому совершенствование терминологии комбинированных перевозок должно осуществляться в комплексе с совершенствованием современной международной системы отраслевого нормативно-правового регулирования таких перевозок.

В связи с этим следует признать особую важность работы по совершенствованию и унификации терминологии комбинированных, интермодальных и мультимодальных перевозок, которую проводят эксперты Организации сотрудничества железных дорог (далее – ОСЖД) в сотрудничестве со специалистами Экономической и социальной комиссии для Азии и Тихого океана ООН (далее – ЭСКАТО) и других организаций-участниц ОСЖД. Данная инициатива экспертов ОСЖД приобретает особую актуальность на фоне активной цифровизации транспортной отрасли. В современных условиях компьютер должен не только фиксировать электронные сигналы, но и понимать значение и смысл текста и слов так же хорошо, как это делает человек. Именно поэтому в эпоху цифровой трансформации экономики и социальной сферы международное экспертное сообщество должно сосредоточить усилия на стандартизации терминов и определений, используемых структурами публичной власти и бизнес-сообществом. По мнению экспертов Центра по упрощению процедур торговли и электронным деловым операциям ООН (СЕФАКТ ООН) использование единого понятийного формата повышает эффективность бизнес-процессов, снижает риск ошибок, сокращает затраты и сроки на исполнение международных торговых сделок [3].

Применение единой терминологии в сфере комбинированных, интермодальных и мультимодальных перевозок обеспечивает следующие эффекты:

– семантическая совместимость данных в торговых и транспортных контрактах;





- реализация принципа «единой формы» для документов;
- формирование методологической основы для классификаторов и стандартов по различным видам перевозок.

Комбинированный способ доставки внешне-торговых грузов в течение ряда лет активно применяется в странах ЕС, что положительно отразилось на динамике объёмов перевозок и грузооборота железнодорожного транспорта и внесло весомый вклад в улучшение экологической ситуации в странах Евросоюза [4]. В то же время в странах из восточной части континента комбинированные перевозки пока не получили достаточного развития. Одной из главных причин низкой востребованности комбинированных перевозок для обслуживания трансконтинентальных грузопотоков являются терминологические различия в отдельных международных и национальных транспортных соглашениях, стандартах и правилах, регулирующих особенности осуществления данной разновидности перевозок.

В связи с этим *целью* настоящего исследования является выявление структурно-содержательных различий в дефинициях комбинированных перевозок и выработка рекомендаций по их унификации для дальнейшего совершенствования и гармонизации транспортного законодательства на пространстве Большой Евразии.

## МЕТОДОЛОГИЯ

Комбинированные перевозки представляют собой один из прогрессивных способов осуществления так называемых смешанных (сочетающих разные виды транспорта) грузовых перевозок, которые выполняются преимущественно в межрегиональном и международном сообществах [5–10].

Смешанные перевозки на большинстве магистральных направлений, как правило, обладают значительно большей экономической, социальной и экологической эффективностью по сравнению с прямыми перевозками, которые выполняются каким-либо одним видом транспорта. Основным источником образования данных эффектов являются внутрисистемные механизмы формирования новых, не присущих отдельным частям транспортной системы (разным видам транспорта) свойств, которые проявляются при рациональном управлении (взаимодействии) всеми системными компонентами: транспортной и логистической инфраструктурой, тяговым и подвижным составом, погрузочно-разгрузочными устройствами, специализи-

рованными приспособлениями для размещения груза и пр. [11].

Устойчивость системы смешанных перевозок базируется на допущении, что все участники цепочки поставок заинтересованы делать рациональный выбор в пользу максимально возможного извлечения экономических и экологических преимуществ каждого вида транспорта за счёт их интеграции в единую транспортно-логистическую цепочку. Организаторы смешанной перевозки анализируют преимущества и недостатки отдельных видов транспорта с учётом конкретных условий эксплуатации; сравнивают их по актуальным критериям – цена, скорость, весовые и габаритные ограничения, соблюдение специфических условий и пр.; отбирают наиболее подходящий вид транспорта для каждого участка маршрута [12].

Выделение смешанных перевозок в отдельную видовую категорию представляет интерес с научной точки зрения для разработки единой методологической основы организации и выполнения таких перевозок, а также имеет важное организационно-технологическое и практическое значение.

При смешанных перевозках для повышения эффективности взаимодействия участников транспортно-технологической системы часто применяются так называемые интермодальные транспортные единицы (ИТЕ), использование которых позволяет значительно сократить временные и денежные затраты на выполнение перегрузочных операций при смене вида транспорта. К числу ИТЕ относятся контейнеры, съёмные кузова, полуприцепы и другое оборудование, конструктивно приспособленное для размещения в нём груза и перевозки в подвижном составе разных видов транспорта от пункта отправления до пункта назначения. В промежуточных пунктах при смене вида транспорта перегружается не собственно груз, а ИТЕ с грузом. Смешанная перевозка с использованием ИТЕ называется интермодальной перевозкой.

Согласно Глоссарию «Терминология комбинированных перевозок» ЕЭК ООН (далее – Глоссарий), к интермодальным перевозкам относятся также перевозки груза в автомобиле, который на смежных участках перевозится другими видами транспорта. Причём интермодальная перевозка с участием автомобильного транспорта является подвижной категорией, на базе которой выделяется такая разновидность, как комбинированные перевозки. Главная же особенность (отличие)

комбинированных перевозок от других разновидностей интермодальных сообщений с участием автомобильного транспорта заключается в том, что большая часть рейса по территории стран ЕС приходится на железнодорожный, внутренний водный или морской транспорт, а любой начальный и (или) конечный отрезок пути, на котором используется автомобильный транспорт, является максимально коротким.

По оценкам экспертов ЮНКТАД, как правило, в очень редких случаях доставка внешнеторговых грузов осуществляется в виде прямого сообщения – только каким-либо одним видом транспорта [13].

При международных поставках в основном преобладают смешанные сообщения, которые имеют значительно более сложную структуру транспортно-технологических операций, объединяющую большее количество участников в рамках торгово-логистической цепочки. Из соображений эффективности всем участникам цепочки поставок, в том числе, надзорным органам, целесообразно применять единую терминологию как в отношении выполняемых операций, так и в части информации, характеризующей предметы транспортировки, расчётные, таможенные и другие операции. Стоит заметить, что в отношении данных, характеризующих таможенные признаки грузов и товаров, достигнуто единство на международном уровне по линии СЕФАКТ ООН и Всемирной таможенной организации. Применение унифицированной терминологии способствует гармонизации законодательства, прозрачности соответствующих процедур и, как следствие, повышению эффективности международной торговли. При организации процесса сбора, рационализации и гармонизации транспортных терминов можно использовать типовые методические рекомендации ЕЭК ООН и СЕФАКТ ООН по упрощению и стандартизации данных для международной торговли [14].

При проведении сравнительного анализа терминологии комбинированных перевозок были использованы формулировки из официальных международных и национальных документов, касающиеся данного вида сообщений. Прежде всего изучалась терминология из документов, имеющих межгосударственный статус, – «Европейское соглашение о важнейших линиях международных комбинированных перевозок и соответствующих объектах (СЛКП)» (далее – «Европейское Соглашение»), «Соглашение ОСЖД об организационных и эксплуатационных аспектах

комбинированных перевозок в сообщении Европа–Азия» (далее – «Соглашение Европа–Азия») и Директива Совета ЕС № 92/106/ЕЕС об установлении общих правил для некоторых видов комбинированных перевозок грузов между государствами Евросоюза (далее – Директива Совета ЕС № 92/106/ЕЕС, Директива), а также из упомянутого выше Глоссария ЕЭК ООН и межгосударственных стандартов, действующих в отдельных странах-участниках ОСЖД. При анализе и обсуждении содержания транспортных терминов также учитывались теоретические и методологические разработки отечественных и зарубежных представителей академической науки в области совершенствования терминологии смешанных перевозок.

Исследование терминов по комбинированным перевозкам на основе перечисленных источников позволило обобщить официальные и научные подходы к определению значения и смысла соответствующих понятий. Данный процесс сопровождался сопоставлением содержания терминов с технологическими, организационными и правовыми аспектами той предметной области, для характеристики которой они (термины) применяются. Затем выявлялись различия в содержании изученных терминов с использованием методов семантического и структурно-содержательного анализа. Далее оценивалась целесообразность использования отличительных характеристик для идентификации соответствующих терминов. При положительной оценке разрабатывались обоснованные рекомендации по корректировке действующих или введению новых терминов.

Под структурно-содержательной характеристикой терминов понимается определение состава лексических элементов дефиниции и интерпретация придаваемого им сущностного значения. Применительно к транспортной терминологии в структуре понятия могут выделяться следующие структурные компоненты: используемые виды транспорта и типы подвижного состава, оборудование, технологии и инфраструктурные объекты с учётом их специализации, перевозимые объекты, правовые рамки, надзорные процедуры, особенности документооборота и пр. В настоящем исследовании акцент сделан на структурно-содержательной характеристике объекта комбинированных перевозок, который в силу технологических особенностей данного способа транспортировки имеет сложный компонентный состав.





## РЕЗУЛЬТАТЫ

Выше отмечалось, что для повышения эффективности международных перевозок с участием разных видов транспорта многие страны Евразийского континента заключили ряд многосторонних соглашений, в которых закреплены обязательства сторон по доведению эксплуатационных характеристик объектов национальной инфраструктуры до уровня соответствия единым установленным в соглашениях требованиям (стандартам). При этом анализ дефиниций ключевых терминов в данных Соглашениях выявил наличие определённых различий, прежде всего, в объекте комбинированных перевозок.

По общему правилу под объектом перевозок понимается груз. При комбинированных перевозках объектом является не собственно груз, а различного рода оборудование (контейнер, съёмный кузов и пр.), прицепной подвижной состав (полуприцеп, прицеп и пр.) или автотранспортные средства (универсальные грузовые автомобили с несъёмным кузовом), в которых непосредственно размещается груз, а при смене вида транспорта осуществляется перевалка не груза, а соответствующего объекта с грузом.

В «Европейском соглашении» содержится, на наш взгляд, недостаточно конкретизированное определение термина «комбинированная перевозка», под которой в документе понимается перевозка грузов на одной и той же «транспортной единице» с использованием нескольких видов транспорта («The term «combined transport» shall mean the transport of goods in one and the same transport unit using more than one mode of transport»). При этом в «Европейском Соглашении» нет дополнительных разъяснений, что следует понимать под соответствующей транспортной единицей.

Некоторые пояснения характеристик «транспортной единицы», являющейся объектом комбинированных перевозок согласно «Европейскому соглашению», приведены в Глоссарии «Терминология комбинированных перевозок». В третьей главе Глоссария, которая так и называется – «Транспортные единицы», приводится описание различных типов транспортных средств, относящихся к автомобильному, железнодорожному и морскому видам транспорта. При этом не все приведённые в данном разделе Глоссария разновидности транспортных единиц могут выполнять функцию «одной и той же транспортной единицы», как это предписано «Европейским соглашением» для объекта комбинированных перевозок. С учётом технологических особенностей осуществления комбинированных перевозок к их объектам могут

быть отнесены следующие разновидности транспортных единиц из Глоссария: сочленённое транспортное средство, автопоезд, прицеп, полуприцеп, бимодальный полуприцеп. Данные разновидности «транспортных единиц» предназначены для эксплуатации в составе с автотранспортными средствами (грузовыми автомобилями с несъёмным кузовом или автотягачами – «motor vehicle» в англоязычной версии термина в Глоссарии). Причём собственно грузовые автомобили с кузовом, не использующие прицепной подвижной состав, по формальным признакам Глоссария не относятся к «транспортным единицам» и, как следствие, не входят в состав объекта комбинированных перевозок согласно дефиниции «Европейского соглашения». На наш взгляд, такая характеристика объекта не лишена недостатков, и поэтому желательно конкретизировать формулировку термина «комбинированная перевозка» в «Европейском соглашении».

В «Соглашении Европа–Азия» приводится сравнительно подробная характеристика объекта комбинированной перевозки, к которому отнесены так называемые грузовые единицы и перечислены их разновидности: контейнер, съёмный кузов, полуприцеп, автотранспортное средство. Стоит отметить, что данная структура компонентов объекта комбинированных перевозок является сложной по своему составу, так как содержит не однотипные объекты в классификации Глоссария.

Первая категория – контейнеры, съёмные кузова и полуприцепы, которые относятся к так называемым «интермодальным транспортным единицам» (ИТЕ) и являются разновидностью «грузовых единиц». Как известно, ИТЕ конструктивно не приспособлены для обособленного передвижения. Поэтому ИТЕ при комбинированной перевозке (в грузённом или порожнем состоянии) располагаются на автотранспортном средстве, а при смене вида транспорта происходит перевалка не груза, а ИТЕ. При этом полуприцепы в Глоссарии одновременно относятся и к ИТЕ, и к «транспортным единицам», но не относятся к «грузовым единицам», разновидностью которых являются ИТЕ, что на наш взгляд, вносит противоречия в структуру терминов данного документа.

Вторая категория – автотранспортные средства, к которым, как уже отмечалось выше, относятся моторизированные грузовые автомобили с несъёмным кузовом, приспособленные для выполнения перевозок различных видов грузов, в том числе, ИТЕ и прицепов. Стоит отметить,

что автомобильные прицепы по формальным признакам «Соглашения Европа–Азия» не относятся к объектам комбинированных перевозок, хотя по факту являются таковыми и их перевозка в вагонах предусмотрена положениями СМГС.

Обобщая результаты анализа дефиниций комбинированных перевозок из «Соглашения Европа–Азия» и «Европейского соглашения», можно выделить основные структурно-содержательные отличия в используемых объектах комбинированных перевозок. В тексте «Соглашения Европа–Азия» прямо указано, что в число объектов комбинированной перевозки входят как грузовые единицы, так и автотранспортные средства, под которыми понимаются автомобили с несъёмными кузовами. В свою очередь в тексте «Европейского соглашения» в качестве объекта комбинированной перевозки указана только «транспортная единица», к которой автомобили не относятся.

При этом стоит заметить, что в отношении структуры и содержания данных терминов существуют определённые различия между Глоссарием, «Соглашением Европа–Азия» и «Соглашением о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС), например, исходя из статьи 2 СМГС. Также стоит отметить, что с классификационной системой подвижного состава из Глоссария, «Соглашения Европа–Азия» и СМГС не в полной мере согласуется структура данных категорий, которая содержится в «ОК 034-2014 (КПЕС 2008). Общероссийский классификатор продукции по видам экономической деятельности», например, в подразделе 29 «Средства автотранспортные, прицепы и полуприцепы» раздела С «Продукция обрабатывающих производств», притом что последний документ имеет меньший статус в правовой иерархии. Однако детальное изучение данных вопросов не входит в рамки настоящего исследования.

Приведённые сведения о существующих структурно-содержательных различиях в Соглашениях и Глоссарии дают основания утверждать, что содержащиеся в них формулировки объекта «комбинированных» перевозок могут быть интерпретированы в достаточно широком смысле, что не способствует гармонизации отраслевого законодательства между странами континента.

Более детальная характеристика объекта «комбинированной перевозки» содержится в Директиве Совета ЕС, которая была принята примерно через год после подписания Европейского соглашения и распространяется только на страны ЕС. В Директиве, в отличие от Европейского со-

глашения, приведены конкретные критерии «комбинированной перевозки», в том числе, детализирована структура объекта перевозок:

1) объектом перевозки являются транспортные средства или интермодальные транспортные единицы, в которых собственно и размещается груз при перевозке:

- грузовой автомобиль (loggy – в англоязычной версии термина в Директиве),
- прицеп, полуприцеп с тягачом или без тягача,
- съёмный кузов, контейнер;

2) автомобильный транспорт используется на начальном и (или) последнем участке мультимодального маршрута;

3) протяжённость железнодорожного или водного участков мультимодального маршрута превышает 100 км по прямой линии;

4) груз должен доставляться автотранспортом до или от ближайшей железнодорожной станции относительно мест отправления или назначения мультимодальной перевозки соответственно;

5) протяжённость автодорожного участка до или от морского (речного) порта относительно мест отправления или назначения мультимодальной перевозки соответственно не должен превышать 150 км по прямой линии.

Принятие Директивы Совета ЕС и реализация предусмотренных в ней мер государственной поддержки комбинированных перевозок (как правило, возврат или снижение транспортного налога) обеспечили сокращение объёмов прямых (унимодальных) автомобильных перевозок, что привело к перераспределению грузопотока на другие более «экологически чистые» виды транспорта, такие как железнодорожный транспорт, внутренний водный и морской транспорт. Данные меры внесли весомый вклад в сокращение выбросов вредных веществ и парниковых газов в атмосферу, а также снизили показатели дорожно-транспортных происшествий, шума и заторов. Вместе с тем эксперты отмечают, что дефиниция термина «комбинированные перевозки» из Директивы также не лишена недостатков, которые препятствуют многим перевозчикам пользоваться мерами экономической поддержки [15]. В связи с этим в ЕС обсуждаются изменения в Директиву 92/106/ЕЕС. В частности, планируется изменить порядок исчисления протяжённости участков комбинированных перевозок, на которых используется автотранспорт. Для внутриевропейских маршрутов, перевозка по которым регламентируется Директивой, данная норма, безусловно, должна быть единой для всех стран ЕС. Однако



для трансконтинентальных цепочек поставок, возможно, будет более рациональным вариант, когда каждый из участников (государство) Соглашений о комбинированных перевозках будет самостоятельно устанавливать отдельные критерии комбинированных перевозок, которые позволят учитывать географические особенности регионов, фактическую конфигурацию и плотность транспортной сети. При этом важно, чтобы структурно-содержательная характеристика объекта комбинированных перевозок была единой в нормативных документах всех участников соглашений. В противном случае правовое регулирование комбинированной перевозки грузов в однотипных транспортных или грузовых единицах в разных странах будет различаться, и тогда, возможно, при смене вида транспорта будет перегружаться собственно груз, а не грузовые или транспортные единицы с грузом.

Терминологические различия просматриваются не только в законодательных актах, но и в межгосударственных стандартах и национальных правилах. Например, в ГОСТ 34530-2019 «Межгосударственный стандарт «Транспорт железнодорожный. Основные понятия. Термины и определения» (п. 2.4.19) и в ГОСТ 34056-2017 «Межгосударственный стандарт Транспорт железнодорожный. Состав подвижной. Термины и определения» (п. 3.3.21) дано определение термина «платформа для комбинированных перевозок», под которой понимается вагон-платформа, предназначенный для перевозки контейнеров, автопоездов, автоприцепов, полуприцепов и съёмных автомобильных кузовов. Как видим, в число объектов, для перевозки которых предназначена соответствующая платформа, не входят собственно автомобили, которые перевозят груз в несъёмном кузове, а не в прицепе или полуприцепе. Также можно заметить, что в новых российских правилах перевозок отдельных типов подвижного состава автомобильного транспорта по железным дорогам (утверждены приказом Минтранса РФ в январе 2020 года) в состав перевозимых объектов не включены автомобили, хотя в приложении 3 к СМГС предусмотрена возможность их перевозки наряду с автопоездами, полуприцепами, прицепами, съёмными автомобильными кузовами и пр. Упомянутые правила не имеют отношения к комбинированным перевозкам, но с учётом перспектив развития комбинированных перевозок, возможно, появится потребность в более подробном обсуждении российских правил перевозок автотранспортных средств в грузовых вагонах.

Скорее всего, этот вопрос поднимется после принятия нового закона о прямых смешанных (комбинированных) перевозках, проект которого активно обсуждается в профессиональном сообществе. В статье 788 Гражданского кодекса РФ определены основы взаимоотношений транспортных организаций при осуществлении прямых смешанных сообщений, выполняемых по единому транспортному документу. В данной статье записано, что порядок организации таких перевозок определяется соглашениями между перевозчиками разных видов транспорта и регулируется специальным законом о прямых смешанных (комбинированных) перевозках. Примечательно, что в названии будущего закона термины «прямые смешанные» и «комбинированные» перевозки используются как равнозначные, что, на наш взгляд, не в полной мере согласуется со значением соответствующих понятий.

Термины «прямая смешанная» и «комбинированная» перевозки являются разновидностями более широкого по содержанию понятия – «смешанная перевозка». При этом данные термины относятся к различным таксономическим группам в рамках надвидового класса: «прямая смешанная перевозка» характеризует организационно-технологические особенности осуществления смешанных перевозок по единому транспортному документу, а «комбинированная перевозка» характеризует разновидность бесперегрузочных (интермодальных) сообщений, выполняемых с участием автомобильного транспорта на начальных и (или) конечных участках смешанного маршрута. Соответственно уравнивание значений понятий «прямая смешанная» и «комбинированная» перевозки и, как следствие, применение к ним одинаковых нормативных требований может осложнить регулирование данных разновидностей смешанных сообщений. Поэтому имеет смысл обсудить вопрос о целесообразности изменения в Гражданском кодексе названия такого закона, исключив из него комбинированные перевозки.

### **ОБСУЖДЕНИЕ, ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ**

Для обеспечения реальной и эффективной интеграции транспортных систем Евразийского континента важно обеспечить общность понятийного аппарата комбинированных перевозок при их регулировании на международном и национальном уровнях. Все участники рынка должны использовать равнозначные формулировки профессиональных терминов. Это важно для обеспечения гармонизации правил перевозок, перево-

зочной документации и других нормативных правовых документов по комбинированным перевозкам в международном сообщении, что, в свою очередь, будет способствовать росту объёмов международной торговли, сокращению сроков доставки грузов и повышению их сохранности и, в конечном счёте, снижению издержек потребителей на евроазиатском континенте.

Стоит признать рациональной идею и успешную практику применения Глоссария в качестве отсылочного документа с подробными формулировками и детальными разъяснениями профессиональных терминов, которые используются в отраслевых международных соглашениях. Вместе с тем, отдельные дефиниции в Глоссарии целесообразно уточнить, дополнить и систематизировать. Например, в Глоссарии полуприцепы отнесены к категории «транспортных единиц» и одновременно входят в состав ИТЕ, которые являются разновидностью «грузовых единиц». В свою очередь прицепы, которые также отнесены к категории «транспортных единиц», не входят в состав объектов ИТЕ. Безусловно, прицепы имеют конструктивные отличия от полуприцепов, но технологические различия в части организации перевозочного процесса с их участием не так уж и существенны.

В Глоссарии при характеристике содержания многих терминов используется понятие «Автотранспортное средство», которое в данном документе не имеет собственного определения. Значение данного термина, безусловно, можно установить из контекста его использования при определении других понятий. Например, в дефинициях отдельных разновидностей «транспортных единиц» (таких как сочленённое транспортное средство, прицеп, полуприцеп, автопоезд) понятие «автотранспортное средство» используется в качестве надвидовой категории. С учётом содержания и смысла дефиниций указанных терминов под «автотранспортным средством» понимается собственно «автомобиль». Из этого тезиса следует три важных вывода.

Во-первых, в определении термина «Интермодальная перевозка» из Глоссария используются только два объекта перевозок: «грузовая единица» и «автотранспортное средство». Тогда получается, что если автотранспортное средство (собственно автомобиль), не принадлежит к объектам группы «транспортные единицы», то перевозка груза в полуприцепе, прицепе и даже вагоне в смешанном сообщении с использованием бесперегрузочных технологий (например, груз в вагоне перевозится на морском пароме) не от-

носится к категории «интермодальная перевозка». Поэтому содержание термина «интермодальная перевозка» в Глоссарии неоспорно, и представляется целесообразным дополнить состав объектов, перевозимых с использованием бесперегрузочных технологий, также и термином «транспортные единицы». Например, учесть прицепы, автопоезда, сочленённые транспортные средства, вагоны и другой подвижной состав, пригодный для бесперегрузочного сообщения. Если этого не сделать, тогда надо будет подбирать новый термин для характеристики интермодальных (бесперегрузочных) сообщений с участием «транспортных единиц».

Во-вторых, в «Европейском соглашении» в состав объектов комбинированных перевозок включены только «транспортные единицы». Следовательно, согласно данному документу, оно не распространяется на бесперегрузочные сообщения с участием автомобилей и других «грузовых единиц», таких как контейнер. В то время как другие нормативные документы, в том числе, «Соглашение Европа–Азия», Директива Совета ЕС № 92/106/ЕЕС, регулируют перевозки с такими объектами. Поэтому желательно расширить и конкретизировать объекты комбинированных перевозок в «Европейском соглашении», чтобы обеспечить гармонизацию нормативных требований с другими документами, регулирующими аналогичные перевозки. Общие рекомендации по корректировке объекта комбинированных перевозок будут сформулированы на примере «Соглашения Европа–Азия», содержание которого также нуждается в уточнении состава и структуры соответствующего объекта.

В текущей редакции «Соглашения Европа–Азия» в качестве объекта комбинированных перевозок фактически указан только один объект – «грузовая единица», структура которого затем представлена в составе четырёх разновидностей (контейнер, съёмный кузов, полуприцеп, автотранспортное средство). В работе было показано, что данные разновидности относятся к различным таксономическим группам: контейнер и съёмный кузов – это «грузовые единицы», полуприцеп – это «транспортная единица», а под автотранспортным средством в Глоссарии и СМГС понимаются различные объекты. При этом в «Соглашении Европа–Азия» в состав объекта комбинированных перевозок не вошли прицепы.

В связи с этим предлагается следующая структура объекта комбинированных перевозок. В ней логично выделить три структурные части – «гру-





зовые единицы», «транспортные единицы» и «автотранспортные средства (автомобили)». Первые две группы могут быть дополнительно охарактеризованы конкретными разновидностями. Например, группу «грузовых единиц» целесообразно представить «интермодальными транспортными единицами» – контейнерами и съёмными кузовами. Группу «транспортных единиц» – прицепами, полуприцепами, автопоездами, сочленёнными транспортными средствами.

В-третьих, «Соглашение Европа–Азия» имеет более высокий правовой статус, чем межгосударственные стандарты, поэтому представляется целесообразным рассмотреть вопрос об изменении двух упомянутых выше межгосударственных стандартов (ГОСТ 34530-2019 «Межгосударственный стандарт «Транспорт железнодорожный. Основные понятия. Термины и определения» (п. 2.4.19) и в ГОСТ 34056-2017 «Межгосударственный стандарт Транспорт железнодорожный. Состав подвижной. Термины и определения») в части корректировки определения термина «платформа для комбинированных перевозок» с учётом предложенной выше структуры объекта таких перевозок.

Приведённые выше рекомендации по совершенствованию транспортной терминологии обусловлены объективными изменениями перевозочных технологий. Вполне естественно, что за несколько десятков лет с момента принятия «Европейского соглашения» и «Соглашения Европа–Азия» появились новации в регулировании и осуществлении комбинированных перевозок, которые было бы целесообразно отразить в обоих Соглашениях. Для обеспечения синхронизации процесса обсуждения и выработки новых правил регулирования комбинированных перевозок всеми участниками Соглашений, возможно, будет проще вновь вернуться к идее заключить на базе существующих Соглашений новое, всеобъемлющее Евроазиатское Соглашение о важнейших линиях комбинированных перевозок. Новое соглашение позволило бы отразить успешный накопленный опыт участников данных Соглашений, наработанные предложения по совершенствованию требований к организации международных комбинированных перевозок, а также обновить

транспортную терминологию, которая развивается вслед за стремительно изменяющимися технологиями комбинированных, мультимодальных, интермодальных и других видов перевозок.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Рамберг Я. Международные коммерческие транзакции / Пер. с англ. под ред. Н. Г. Вилковой. – М.: Инфотропик Медиа, 2011. – 896 с.
2. Ларин О. Н. Регулирование международных перевозок: современные аспекты // Мир транспорта. – 2019. – Т. 17. – № 2 (81). – С. 296–305. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-2-296-305>.
3. UNECE. Supply Chain Reference Data Model Business Requirement Specification. CEFACT/15DEC/2016. [Электронный ресурс]: [http://www.unecce.org/fileadmin/DAM/unecfact/BRS/BRS\\_SCRDM\\_v1.0.0.2.pdf](http://www.unecce.org/fileadmin/DAM/unecfact/BRS/BRS_SCRDM_v1.0.0.2.pdf). Доступ 11.08.2020.
4. Dua, Aman; Sinha, Deepankar. Quality of multimodal freight transportation: a systematic literature review. World Review of Intermodal Transportation Research (WRITR), 2019, Vol. 8, No. 2, p. 167–194. DOI: <https://doi.org/10.1504/WRITR.2019.099136>.
5. Mathisena, T. A., Hanssena, Th.-E. S. The academic literature on intermodal freight transport. Transportation Research Procedia, 2014, Vol. 3, pp. 611–620. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.10.040>.
6. Intermodal Freight Transport [electronic resource]: Institutional Aspects / Organisation for Economic Co-operation and Development. Paris: OECD Publishing, 2001. 76 p. DOI: 10.1787/9789264189126-en.
7. Floden, J. Modelling Intermodal Freight Transport. The Potential of Combined Transport in Sweden. Goteborg, BAS Publishing, 2007, 284 p.
8. Rodrigue, J.-P. The Geography of Transport Systems, Fifth Edition, New York: Routledge, 2020, 456 p. ISBN 978-0-367-36463-2.
9. Cavallaro, F., Sommacal, G., Božičnik, S., Klemenčič, M. Combined transport in the Alps: Reasons behind a difficult acceptance and possible solutions. Research in Transportation Business & Management, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2020.100461>.
10. Вакуленко С. П., Ларин О. Н., Лёвин С. Б. Теоретические аспекты механизмов взаимодействия в транспортных системах // Мир транспорта. – 2014. – № 6 (55). – С. 14–27. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/169>. Доступ 11.08.2020.
11. Ларин О. Н. Особенности терминологии по перевозкам с участием нескольких видов транспорта // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2020. – № 2. – С. 107–114. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42926165>. Доступ 11.08.2020.
12. UNCTAD. Review of Maritime Transport 2018. UNCTAD/RMT/2018. [Электронный ресурс]: [https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2018\\_en.pdf](https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2018_en.pdf). Доступ 11.08.2020.
13. UNECE. Data Simplification and Standardization for International Trade. Recommendation 34. ECE/TRADE/400.
14. 2018 Report On Combined Transport In Europe, UIC-ETF, 2019, 65 p. ISBN 978-2-7461-2798-2

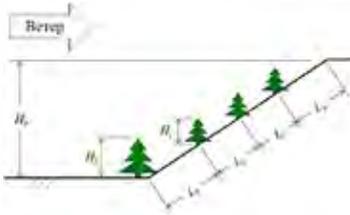
### Информация об авторе:

**Ларин Олег Николаевич** – доктор технических наук, профессор кафедры логистических транспортных систем и технологий Российского университета транспорта, Москва, Россия, [larin\\_ol@mail.ru](mailto:larin_ol@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 17.07.2020, дополнена 11.08.2020, одобрена после рецензирования 23.01.2021, принята к публикации 26.04.2021.

# TV

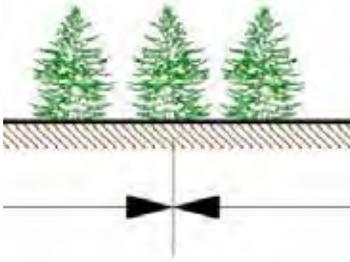
## БЕЗОПАСНОСТЬ, ЭКОЛОГИЯ, УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ



### ЭКОЛОГИЯ

94

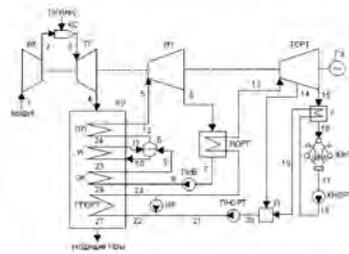
Что, кроме снега, могут ещё задержать снегозадерживающие полосы? Комплексный взгляд на экологический эффект лесопосадок.



### УТИЛИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

100

Органический цикл Ренкина как эффективное и достаточно универсальное решение в сфере энергосбережения.





# Снегозадерживающие лесные насаждения в мировой практике



Дарья МИШИНА

*Дарья Юрьевна Мишина*

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

✉ [daria.korneeva@list.ru](mailto:daria.korneeva@list.ru)

## АННОТАЦИЯ

В зимний период одной из основных задач содержания автомобильных дорог в странах со снежным покровом является борьба со снежными отложениями на проезжей части. С целью защиты автомобильных дорог от снега в мировой практике прибегают к посадке снегозадерживающих лесных насаждений. Они экологичны, долговечны и обладают большой снегозадерживающей способностью. Однако, есть ряд ограничений в их использовании.

Приведён анализ конструкций и схем посадки отечественных и зарубежных снегозадерживающих лесных насаждений, применяемых на автомобильных дорогах, рассмотрены особенности, преимущества и недостатки лесных насаждений в разных странах. В качестве зарубежного опыта рассмотрены японские и американские конструкции. Определено влияние состояния деревьев на эффективность их работы. Как следствие, подтверждена необходимость мониторинга и надлежащего ухода за существующими лесопосадками на протяжении их жизненного цикла на примере обследований лесных насаждений в Казахстане и в Волгоградской области Российской Федерации.

Автором приведены перспективные направления по совершенствованию конструкций и схем посадки снегозадерживающих лесополос, а именно комплексный подход к проектированию данных средств защиты не только от снега, но и от загрязняющих веществ. К таким решениям относится конструкция защитных лесополос с применением только высокорослых кустарников, обеспечивающая наилучшее продувание придорожных территорий и рассеивание контаминантов. Другим решением является включение в состав лесопосадок дополнительно таких растений, как ива и кукуруза. Кроме этого, в связи с глобальными изменениями климата определена важная для современной науки задача обновления действующих норм проектирования лесополос в актуальных на сегодняшний день метеорологических условиях.

Даны рекомендации по применению математического моделирования при помощи компьютерных программ при разработке новых конфигураций лесных посадок и оценке эффективности их работы, а также по внедрению современных технологий, таких как видеокамеры и дроны, при натуральных испытаниях.

**Ключевые слова:** транспорт, снегозадерживающие лесные насаждения, снегозащита, снегопринос, снегоборьба, зимнее содержание автомобильных дорог.

*Для цитирования:* Мишина Д. Ю. Снегозадерживающие лесные насаждения в мировой практике // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 2 (93). С. 94–99. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-13>.

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

## ВВЕДЕНИЕ

В целях обеспечения безопасного и бесперебойного движения на автомобильных дорогах в зимний период во многих странах с холодным климатом борются со снежными заносами на проезжей части. В России снежная стихия преимущественно характерна для районов очень трудной и особенно трудной снегоборьбы согласно районированию территории нашей страны [1; 2]. Среди зарубежных стран с аналогичной проблемой снежных заносов на автомобильных дорогах можно выделить Казахстан, Канаду, Скандинавские страны, США, Японию и другие.

За более чем вековую историю использования снегозадерживающие лесные насаждения зарекомендовали себя как наиболее эффективное средство защиты от снежных заносов. На основании количественной оценки параметров метелевой деятельности и степени снегозаносимости автомобильных дорог выполняют проектирование лесных полос. В каждой стране есть свои особенности выбора схемы установки и ассортимента лесных насаждений.

Важно отметить, что именно на этапе проектирования нового строительства или реконструкции автомобильных дорог необходимо закладывать посадку снегозадерживающих лесных насаждений. На этапе эксплуатации уже построенных и существующих автомобильных дорог возможно лишь проведение мониторинга и незначительной корректировки принятых проектных решений.

Целью исследования являлось выявление перспективных направлений по усовершенствованию конструкций и схем посадки снегозадерживающих лесополос с учётом комплексного подхода к их проектированию в целях защиты не только от снега, но и от загрязняющих веществ.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Широкое применение лесных насаждений обусловлено их значительной снегозадерживающей способностью, они экологичны и имеют неограниченный срок службы. Тем не менее, наряду с существенными преимуществами есть ряд ограничений в их применении. К таковым относятся неблагоприятные почвенно-геологические условия, пролегание дороги близ сельскохозяйственных угодий, значительный землеотвод под их посадку (который составляет согласно рекомендациям

ОДМ 218.5.001-2008<sup>1</sup> и ОДМ 218.2.045-2014<sup>2</sup> от 15 до 100 м плюс ширина самого насаждения от бровки земляного полотна до лесных насаждений в зависимости от объёмов снегоприноса). Нормативные значения приняты на основании научных трудов [1–3], выполненных во второй половине XX века. Кроме того, на период роста молодых саженцев до зрелого растения при новом строительстве или реконструкции автомобильных дорог необходимо предусматривать дополнительные меры защиты от снега.

## Отечественный опыт применения лесных насаждений

Нормативные схемы посадки лесных полос, правила усиления существующих лесных насаждений, ассортимент и требования к посадочному материалу представлены в национальных рекомендациях ОДМ 218.2.045-2014. В основе назначения схем лесных насаждений лежит объём снегоприноса к автомобильной дороге.

Немаловажным фактором эффективной работы лесных полос является мониторинг и уход в период их эксплуатации. Молодые саженцы под влиянием негативных факторов могут не достичь требуемых размеров или подвергнуться высушиванию и гниению, у кустарников может отсутствовать опушка. А достигнув зрелого возраста, деревья становятся изреженными и повреждёнными в процессе жизненного цикла. Увеличивают густоту деревьев и кустарников путём вырубок сучьев или наращивания числа рядов деревьев [3]. Согласно ОДМ 218.011-98<sup>3</sup>, работы по усилению существующих снегозащитных насаждений представляют собой обработку почвы с учётом региональных агротехнических требований, саму посадку (посев) растений, дополнение культур и агротехнический уход за насаждениями.

Например, по данным [4], в Волгоградской области в 2019 году были выполнены полевые исследования состояния придорожных лесных насаждений вдоль автомобильных дорог Р-22

<sup>1</sup> ОДМ 218.5.001-2008. Методические рекомендации по защите и очистке автомобильных дорог от снега.

<sup>2</sup> ОДМ 218.2.045-2014. Рекомендации по проектированию лесных снегозадерживающих насаждений вдоль автомобильных дорог.

<sup>3</sup> ОДМ 218.011-98. Автомобильные дороги общего пользования. Методические рекомендации по озеленению автомобильных дорог.



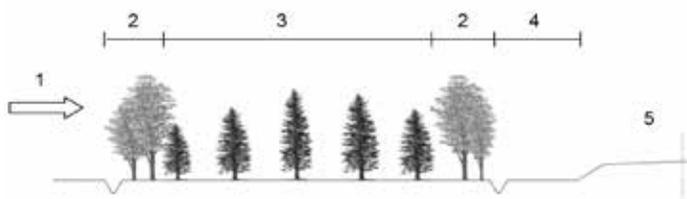


Рис. 1. Типовая схема лесных насаждений в Японии: 1 – направление господствующего ветра зимой, 2 – быстрорастущие широколиственные деревья, 3 – вечнозелёные деревья, 4 – территория для снежных отложений, 5 – автомобильная дорога [5, с. 37].

«Каспий» (Москва–Астрахань) и Р-228 (Волгоград–Сызрань), что позволило установить их неудовлетворительное состояние, приостановку в росте, деградацию и сухие вершины деревьев на обоих участках дорог.

В таких случаях лесные посадки подлежат незамедлительной лесовозобновительной рубке для обеспечения их обновления и порослевой генерации. Поскольку лесные полосы, как правило, расположены в полосе отвода автомобильной дороги, то и ответственность за выполнение данных работ возлагается на эксплуатирующие службы, которые, в свою очередь, не всегда имеют в своем штате компетентных специалистов в данной сфере. Как результат, лесные насаждения не способны в полной мере функционировать в качестве снегозадерживающих устройств.

### Зарубежный опыт применения лесных насаждений

Во многих зарубежных странах с холодным и снежным климатом в качестве защиты от снежных заносов на автомобильных дорогах тоже используют снегозадерживающие лесопосадки. Правила их применения в каждой стране продиктованы метеорологическими и гидрогеологическими условиями, а также особенностями рельефа местности и характеристиками прилегающей территории.

В целях снегоборьбы в Японии, например, очень активно применяют снегозадерживаю-

щие лесные полосы. По состоянию на 2009 год только на автомобильных дорогах острова Хоккайдо их протяжённость составила около 80 км [5]. Стандартная ширина лесонасаждений составляет 10, 20 или 30 м [5; 6] (рис. 1). Основываясь на трудах отечественных специалистов [1; 2], можно полагать, что такие небольшие расстояния возможны при небольших объёмах снегоприноса, поскольку в таких случаях снегоборная способность лесных полос невелика, возможен выход снежного шлейфа на проезжую часть автомобильной дороги.

В настоящее время японские ученые продолжают исследования эффективности снегозадерживающих лесных насаждений в зависимости от состава и состояния растений в ходе эксплуатации, схем установки. Так в работе [5] были выполнены обследование увядания деревьев, оценка влияния направления ветров, недостатка солнечного света на рост растений и, как следствие, оценка снегозадерживающей способности лесополосы в таких условиях,

В северных штатах США также широко распространены снегозадерживающие лесопосадки. Согласно отчёту американского учёного Р. Д. Таблера [7], в зависимости от объёма снегоприноса минимальная высота растений варьируется от 1,2 до 2,8 м, а расстояние между бровкой земляного полотна и лесными насаждениями – от 30 до 90 м. На

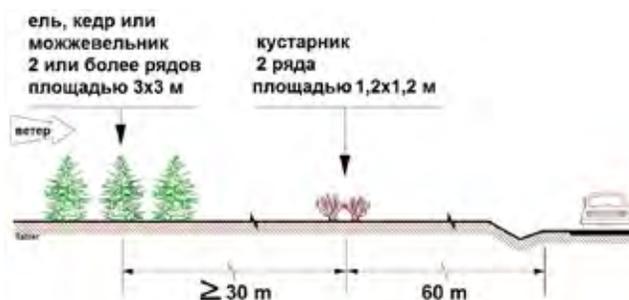


Рис. 2. Временная схема усиления посадки молодых деревьев кустарниками [7, с. 234].

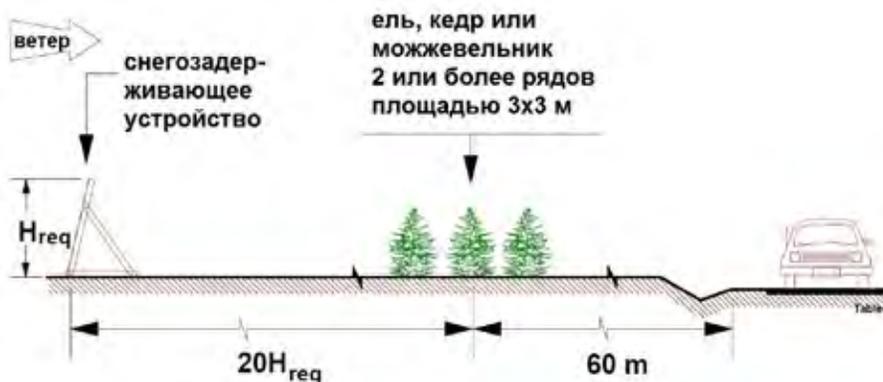


Рис. 3. Временная схема усиления посадки молодых деревьев снегозадерживающими устройствами [7, с. 233].

период роста молодых саженцев автор рекомендует посадку дополнительных рядов кустарника (рис. 2) или установку снегозадерживающих устройств (рис. 3).

Р. Д. Таблером [7] также предложена посадка кустарников в шахматном порядке на протяжённых откосах в границах полосы отвода с целью смягчения метелевой деятельности в зоне насыпей (рис. 4). Его последователями [8; 9] данное решение было распространено для участков с крутыми откосами (1:1,5) таких, как подходы к мостовым сооружениям. Предложенная для уменьшения количества снежных заносов конфигурация деревьев и кустарников состоит из ряда растительности у основания земляного полотна, за которым следуют один или несколько рядов на откосе насыпи (рис. 5). Количество рядов зависит от геометрии насыпи. Очевидно, что применять данную схему необходимо с осторожностью и учитывать при этом обеспечение условия видимости.

В Республике Казахстан вопрос борьбы со снежными заносами стоит крайне остро. Климатические условия и особенности территории страны обуславливают большие объёмы приносимого к дорогам снега в зим-

ний период (в степной зоне Северного Казахстана к дорогам приносит от 300 до 600 м<sup>3</sup>/м снега, а на некоторых участках даже до 800–1200 м<sup>3</sup>/м). Придорожные лесные полосы защищают от снежных заносов автомобильные (59,7 тыс. га) и железные (66,8 тыс. га) дороги. Нормы и правила посадки снегозадерживающих лесных насаждений аналогичны российским. Существующие лесополосы защищают 30 % всех дорог. Однако, по данным исследования [10], в последние годы работы по созданию защитных лесополос практически не ведутся, а существующие насаждения из-за недостаточного ухода, самовольных вырубок населением требуют реконструкции и восстановления. Это обстоятельство в свою очередь подтверждает необходимость надлежащего содержания растений для обеспечения их эффективной работы.

#### Перспективные направления совершенствования лесных насаждений

Лесопосадки помимо задержания снега в период метелевой деятельности могут влиять на степень концентрации вредных веществ. При комплексном подходе при проек-

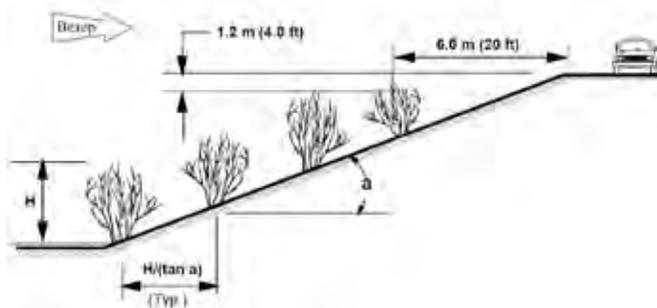


Рис. 4. Схема посадки кустарников на протяжённых откосах насыпей [7, с. 235].



Рис. 5. Схема лесопосадки на подходе к мостовым сооружениям [8].

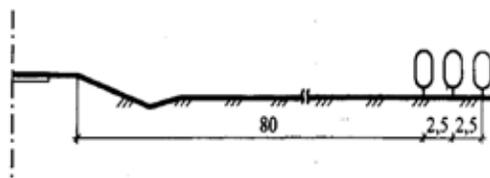


Рис. 6. Конструкция снегозащитной лесной полосы с учётом рассеивания загрязняющих веществ [12].

тировании лесные насаждения способны обеспечивать одновременно снегонезаносимость автомобильной трассы, уменьшение концентрации отработанных газов и, как следствие, улучшение экологических характеристик непосредственно над проезжей частью [11].

С целью выполнения условий снегозащиты и снижения концентрации вредных выбросов А. С. Сушковым [12] предложена конструкция защитных лесополос с применением только высокорослых кустарников (3–6 м) (рис. 6). По его мнению, такая конструкция обеспечит наилучшее продувание придорожных территорий и приведёт к рассеиванию контаминантов.

Важно отметить неоспоримый факт изменения климата в целом и необходимость обновления ныне действующей схемы районирования территории Российской Федерации по трудности снегоборьбы на автомобильных дорогах. Поэтому другой немаловажной задачей современной науки является уточнение норм проектирования лесополос на федеральном и региональном уровнях с учётом актуальных в настоящее время климатических условий и рельефа.

Среди последних зарубежных научных направлений можно выделить следующие. Американскими учёными разработана концепция посадки придорожных лесных

насаждений из быстрорастущей ивы [13–15]. Темп роста ивы в разы выше, чем ольхи, ели или сосны. Помимо снегозадержания ива может выполнять охранную функцию водных и земельных ресурсов, рекультивировать загрязнённый почвогрунт. Опыт США рассматривается для реализации в Республике Беларусь [16].

Еще одним интересным направлением исследования американских специалистов является включение в состав снегозадерживающих полос рядов кукурузы, так, например, делают в штатах Айова и Висконсин [17; 18], руководствуясь простотой и дешевизной данного метода снегоборьбы. Однако в таком случае велик риск вандализма со стороны местного населения.

### Рекомендации по развитию научных исследований

При проведении научных исследований новых образцов или конфигураций лесных насаждений на первом этапе следует прибегать к математическому моделированию с помощью компьютерных программ, которое позволяет в кратчайшие сроки произвести испытания без ограничения количества образцов и времени испытания, не требует выезда «в поле». В основе таких программ лежит система уравнений Навье–Стокса, описывающая движение вязкой несжимаемой жидкости [19, с. 139–142]. Компьютерной программой, которая с достаточной степенью точности позволяет моделировать метелевый поток и снежные отложения в зоне снегозадерживающих преград, является мировой лидер Ansys Fluent. Среди отечественных разработок можно выделить FlowVision [20].

Альтернативным способом исследования является физическое моделирование в лабораторных условиях, например, в аэродинамических трубах. Натурные испытания крайне трудоёмки и затратны, тем не менее, необходимы для оценки работы новых образцов в реальных условиях эксплуатации. В век современных технологий на помощь в натурных испытаниях приходят видеокамеры, дроны и компьютерное обеспечение для осуществления воздушной и наземной фотограмметрии с последующим созданием трёхмерной модели рельефа.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Снегозадерживающие лесные насаждения на протяжении долгих лет демонстрируют свою эффективную работу в борьбе со снегом на автомобильных дорогах в разных странах и, как следствие, существенно сокращают финансовые затраты на зимнее содержание. При этом качество их работы зависит от грамотного проекта, реализации посадки и дальнейшего надлежащего ухода.

Вместе с тем, в условиях недостатка выделения земель под размещение снегозадерживающих полос, поиска компромисса для их использования близ сельскохозяйственных угодий и возрастания актуальности экологической проблемы сложившаяся ситуация побуждает научное сообщество к развитию и оптимизации состава, ассортимента и схем установки снегозадерживающих лесных насаждений.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бялобжеский Г. В., Дюнин А. К., Денисов Б. Н. Зимнее содержание автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1966. – 224 с.
2. Бялобжеский Г. В., Дюнин А. К., Плакса Л. Н., Рудаков Л. М., Уткин Б. В. Зимнее содержание автомобильных дорог / Под ред. А. К. Дюнина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1983. – 197 с.
3. Справочная энциклопедия дорожника. II том. Ремонт и содержание автомобильных дорог / Под редакцией заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, док. техн. наук, проф. А. П. Васильева. – М., 2004. [Электронный ресурс]: <https://files.stroyinf.ru/Data1/51/51537/>. Доступ 24.03.2021.
4. Рулев А. С., Анопин В. Н., Рулев Г. А., Матвеева А. А. Ландшафтное планирование как инструмент управления придорожными комплексами // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и профессиональное образование. – 2019. – № 2 (54). – С. 55–63. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-02-5
5. The Highway Snowstorm Countermeasure Manual (Abridged Edition). Snow and Ice Research Team. Civil Engineering Research Institute for Cold Region 2011. [Электронный ресурс]: [https://www2.ceri.go.jp/fubuki\\_manual/index\\_e.html](https://www2.ceri.go.jp/fubuki_manual/index_e.html). Доступ 24.03.2021.
6. Yasuhiko, I. The growth of highway snowbreak woods in Hokkaido and their snow control effectiveness. 15<sup>th</sup> International Winter Road Congress 2018. Poland, Gdansk 20.02.2018–23.02.2018. [Электронный ресурс]: <https://proceedings-gdansk2018.piarc.org/en/documents/session-documents/2273.html>. Доступ 24.03.2021.
7. Tabler, R. D. Controlling blowing and drifting snow fences and road design. Final Report, 2003. [Электронный ресурс]: [Blowing-Snow-Snow-Fence\\_Tablet\\_2003.pdf. Доступ 24.03.2021.](https://sicop.transportation.org/wp-content/uploads/sites/36/2017/07/NCHRP-20-07147_Controlling-</a></li></ol></div><div data-bbox=)

8. Petrie, J., Qi Y., Cornwell, M. [et al]. Design of Living Barriers to Reduce the Impacts of Snowdrifts on Illinois Freeways. Technical Report. November 2020. DOI: 10.36501/0197-9191/20-019.
9. Blanken, P. D. Designing a Living Snow Fence for Snow Drift Control. Arctic, Antarctic and Alpine Research, 2009, Vol. 41, No. 4, pp. 418–425. DOI: <https://doi.org/10.1657/1938-4246-41.4.418>.
10. Здорнов И. А., Капралов А. В. Очерк состояния лесных насаждений Республики Казахстан // Национальная ассоциация учёных. – 2015. – № 4-5 (9). – С. 153–157. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28878987>. Доступ 24.03.2021.
11. Канишев А. Н. Снижение негативного воздействия автомобильного транспорта за счёт оптимального расположения лесных полос // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 2 (34). – С. 71–76. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21578715>. Доступ 24.03.2021.
12. Сушков А. С. Влияние защитной лесополосы на экологическое состояние придорожной территории // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. – Т. 2. – № 3-4 (8-4). – С. 160–164. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21578715>. Доступ 24.03.2021.
13. Smith, D. J., Zamora, D., Lazarus, W. The economics of planting and producing biomass from willow (*Salix* spp.) living snow fences. Agroforestry Systems, 2016, Vol. 90(5). DOI: 10.1007/s10457-016-9935-x.
14. Ogdahl, E. Establishment and potential snow storage capacity of willow (*Salix* spp.) living snow fences in south-central Minnesota, USA, Agroforest Syst, 2016, Vol. 90, pp. 797–809. DOI 10.1007/s10457-016-9894-2.
15. Ogdahl, E., Zamora, D., Johnson, G., Wyatt, G. Comparison of woody species for use in living snow fences in the midwestern United States. Journal of Soil and Water Conservation, 2018, Vol. 73(3), pp. 321–328. DOI: 10.2489/jswc.73.3.321
16. Родькин О. И., Волк Т. Биоэнергетические плантации ивы: опыт США для Беларуси // Наука и инновации. – 2017. – № 11 (177). – С. 64–68. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32555985>. Доступ 24.03.2021.
17. Constantinescu, G., Muste, M., Basnet, K. TR-626: Optimization of Snow Drifting Mitigation and Control Methods for Iowa Conditions. Final Report, 2015. DOI: 10.13140/RG.2.2.29517.28642.
18. Highway Maintenance Manual, 2017. [Электронный ресурс]: <https://wisconsindot.gov/Documents/doing-business/local-gov/hwy-mnt/mntc-manual/chapter06/06-15-41.pdf>. Доступ 24.03.2021.
19. Самойлович Г. С. Гидроаэромеханика: Учебное пособие. – М.: Машиностроение, 1980. – 280 с.
20. Самодурова Т. В., Гладышева О. В., Алимова Н. Ю., Бончева Е. А. Моделирование процесса отложения снега на автомагистралях в программе FlowVision // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2020. – № 2 (58). – С. 72–83. DOI 10.36622/VSTU.2020.58.2.006. ●

### Информация об авторе:

**Мишина Дарья Юрьевна** – кандидат технических наук, доцент Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва, Россия, [daria.korneeva@list.ru](mailto:daria.korneeva@list.ru).

Статья поступила в редакцию 24.02.2021, актуализирована 24.03.2021, одобрена после рецензирования 26.04.2021, принята к публикации 05.05.2021.





## Анализ состояния вопроса утилизации низкопотенциальных энергетических ресурсов на объектах малой энергетики



Артур ДМИТРЕНКО



Михаил КОЛПАКОВ

*Артур Владимирович Дмитренко<sup>1</sup>,  
 Михаил Игоревич Колпаков<sup>2,1</sup>*

<sup>1</sup> *Российский университет транспорта, Москва, Россия.*

<sup>2</sup> *Мосгипротранс, Москва, Россия.*

✉ <sup>1</sup> *ammsv@yandex.ru.*

### АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены вопросы утилизации низкопотенциальных энергетических ресурсов на объектах малой энергетики. Показана перспектива использования технологии органического цикла Ренкина (ОЦР) в качестве технологии утилизации или преобразования низкопотенциальной энергии.

Приведены разработки в области реализации и утилизации бросового тепла. Наиболее перспективные из них представлены в применении ОЦР, который широко используется на геотермальных источниках, в водогрейных котельных, газотурбинных установках. За счёт постоянного растущего сортамента рабочих тел ОЦР может применяться в широком температурном диапазоне, начиная от 100 °С и заканчивая свыше 350 °С. Также ведутся разработки в области проектирования ОЦР-генераторов с целью повышения надёжности отдельных узлов системы, таких как турбины и детандеры. Исходя из вышеперечисленных факторов, можно сделать вывод, что при более глубоком исследовании проблем внедрения ОЦР-технологий они могут стать весьма перспективным направлением в развитии теплотехники.

Определено, что основным фактором, препятствующим широкому внедрению ОЦР-технологии, является высокая стоимость теплообменного оборудования из-за повышенных теплообменных поверхностей. Показано, что проектирование миниэлектростанций и энергокомплексов на основе использования низкопотенциальной энергии требует совершенствования методов математического моделирования для достоверного определения режимов работы и характеристик каждого из агрегатов. К востребованным следует отнести методы моделирования испарительных и конденсационных систем, в том числе турбин и детандеров, работающих на органических низкокипящих рабочих телах. Методики выбора рабочего тела для ОЦР-устройств также оказывают существенное влияние на характеристики установки, которые определяют диапазон эксплуатационных температур и давлений цикла. Решение вышеуказанных задач способно привести к удешевлению теплообменного оборудования, а, следовательно, снижению издержек на проектирование ОЦР-генераторов.

*Ключевые слова:* низкопотенциальные энергетические ресурсы, органический цикл Ренкина, миниэлектро- и энергокомплексы, математическое моделирование.

*Для цитирования:* Дмитренко А. В., Колпаков М. И. Анализ состояния вопроса утилизации низкопотенциальных энергетических ресурсов на объектах малой энергетики // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 2 (93). С. 100–106. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-14>.

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

## ВВЕДЕНИЕ

Необходимость рассмотрения технического состояния утилизации низкопотенциальных энергетических ресурсов на объектах малой энергетики диктуется потребностью более экономного расходования энергетических ресурсов вследствие пройденного пика углеводородной добычи, а в России – также реализацией энергетической стратегии до 2030 года<sup>1</sup>. На современном этапе развития промышленного производства именно за счёт внедрения энергосберегающих технологий можно повысить эффективность использования топливно-энергетических ресурсов, что является одним из основных условий уменьшения топливной составляющей в себестоимости продукции и, соответственно, повышения рентабельности предприятий. Почти все предприятия стационарной энергетики транспорта и других отраслей промышленности, а также сельского хозяйства располагают «избыточной» теплотой рабочего тела в системах охлаждения, обеспечивающих стабильную и непрерывную работу производственных циклов [1–4].

В последнее десятилетие широкое распространение получили установки, работающие по органическому циклу Ренкина (ОЦР) с применением турбогенераторов как для производства электроэнергии, так и действующие по схеме когенерации [5]. Основное оборудование генератора, как правило, включает в себя: теплообменники, обвязочный трубопровод, насосы первичного и вторичного теплоносителя, турбину, электрогенератор, блок автоматики с силовым оборудованием. В последнее время широкое распространение получили блочно-модульные установки благодаря лёгкости монтажа, низким издержкам при перевозке. На практике такие турбинные генераторы имеют довольно широкий диапазон по электрической мощности (50–1000 кВт).

В современной научной литературе представлены результаты аналитического обзора тепловых схем утилизационных энергетических установок, рабочих теплоносителей, методов термодинамической оценки эффективности процессов преобразования теплоты [1–13]. В России первые системные исследо-

вания были проведены М. И. Дунаевским, а затем разработкой технологических схем и циклов занимались М. М. Гришунин, А. П. Севастьянов, Л. И. Селезнёв, Е. Д. Федорович [14; 15].

*Цель статьи* – рассмотреть состояние вопроса по утилизации низкопотенциальных энергетических ресурсов для повышения энергоэффективности объектов малой энергетики и выявить основные проблемы, стоящие перед такими энергокомплексами.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В последние десять лет большое внимание в мире уделяется разработке и созданию энергоэффективных электроустановок малой мощности на основе замкнутых паротурбинных циклов в низкокиспящих рабочих телах (НРТ). Энергетический источник теплоты является низкопотенциальным, если его температура не превышает 230–300°C (500–570 К). Принципиально НРТ определяют тип термодинамического цикла, состав оборудования и технико-экономические показатели силовых установок. В наиболее широкую группу входят чистые (не смесевые) НРТ: углеводороды (бутан, пропан, пентан), хладоны (R11, R12, R114, R123, R245fa), аммиак, толуол, дифенил, силиконовое масло и др. Они используются в энергоустановках, реализующих ОЦР, суть применения которого заключается в утилизации вторичных энергетических ресурсов (ВЭР), имеющих температуру 80–350°C (отходящие газы, охлаждающая вода и другие ВЭР технологических процессов) [16].

ОЦР находит применение большей частью:

- на тепловых электростанциях;
- на геотермальных электростанциях;
- на полигонах утилизации биологических отходов;
- на промышленных предприятиях, располагающих в своём производственном цикле бросовой теплотой;
- в газотурбинных установках, двигателях внутреннего сгорания и т. д.

Спектр применения рабочих тел зависит от критериев, предъявляемых к ним: энергетические свойства, низкий озоноразрушающий потенциал, безопасность при эксплуатации.

Энергетические установки на основе ОЦР имеют следующие преимущества:

<sup>1</sup> Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 года № 1523-р. [Электронный ресурс]: <https://minenergo.gov.ru/node/1026>. Доступ 09.01.2021.



- невысокие капитальные затраты на турбину в сравнении с пароводяным аналогом;
- нет потребности в системе водоподготовки;
- простая процедура пуска-остановки;
- высокий моторесурс турбинного оборудования (до 30 лет [1]).

Учитывая данные преимущества, использование замкнутых паротурбинных циклов в низкокипящих рабочих телах при внедрении на объектах, имеющих сбросную теплоту, является весьма перспективным.

### **Использование ОЦР на геотермальных источниках**

Довольно интересным примером использования ОЦР является его применение на геотермальных источниках. В качестве источника тепла для ОЦР на геотермальной электростанции выступают тёплые геотермальные воды, которые скважинными насосами из недр земли подаются в испаритель, где и отдают тепло НРТ. Первая в мире геотермальная электростанция (ГеоТЭС) на НРТ, или, как её ещё называют, бинарная ГеоТЭС, была создана в СССР на Камчатке (Паратунская ГеоТЭС) в 1967 году. Источником теплоты были геотермальные воды с температурой 81°C, рабочим агентом был хладон R12, вырабатываемая мощность составляла 680 кВт. В то же время во всем мире активизируется практическое внедрение бинарных ГеоТЭС (США, Мексика, Аргентина, Исландия, Италия, Австрия, Германия, Португалия, Израиль, Таиланд, КНР, Тайвань, Новая Зеландия, Филиппины, Япония). При этом определяющей является тенденция на создание небольших, полностью автоматизированных, не нуждающихся в постоянном обслуживании модульных установок. Лидером в их производстве (до 1000 установленных энергомодулей на пентане мощностью от 40 кВт до 3,5 МВт) является фирма ORMAT (Израиль) [9].

### **Применение ОЦР с водогрейным котлом**

Внедрение на водогрейной котельной ОЦР-технологии позволяет создать когенерацию – одновременную выработку тепловой и электрической энергии. В зависимости от потребителя мини-ТЭЦ может переключаться между режимами выработки как в сторону электроэнергии, так и в сторону теплоснабжения за счёт изменения расхода теплоносителя на испаритель ОЦР-генератора или теплосеть [12].

### **Внедрение ОЦР-технологий в контур парогазовых установок**

При использовании ОЦР с газотурбинными установками (ГТУ) в зависимости от температуры и объёма уходящих газов существует два способа надстройки [13]:

- надстройка ОЦР к комбинированной парогазовой установке (ПГУ) с подключением ОЦР к теплофикационному отбору паровой турбины;
- надстройка ОЦР к ГТУ через водогрейный котёл-утилизатор.

Данные способы позволяют вырабатывать дополнительную энергию на уходящих газах.

Ряд научных учреждений России имеет значительный опыт исследований в области изучения процессов ОЦР: рабочих тел для паротурбинных циклов, построения тепловых схем и расчёта её составляющих элементов (турбины и теплообменное оборудование различных типов) [3].

В исследовании [16] выполнен анализ и обоснование решения задачи энергосбережения на основе реализации замкнутых паротурбинных циклов в низкокипящих рабочих телах для промышленных объектов при использовании ВЭР. Проведено исследование по выбору низкокипящих рабочих тел, применяемых в ОЦР-контурах. Проведены расчёты по оценке возможной получаемой электрической мощности при реализации НРТ турбин на отходящих газах водогрейного котельного агрегата мощностью 100 Гкал/час. Показано, что при максимальном использовании теплоты дымовых газов электрическая мощность установки на НРТ может достигать ~2900 кВт. С целью определения наиболее эффективной утилизации отходящих газов выполнен поиск рациональной тепловой схемы с учётом особенностей существующего технологического цикла. В работе [9] на основе имеющихся режимных карт котельного агрегата выполнены расчётные исследования по определению возможной электрической мощности в зависимости от режима эксплуатации. Расчётные исследования показали, что использование теплоты дымовых газов без дополнительного сжигания топлива ограничивает максимальные температуры НРТ и не позволяет достичь максимальной мощности энергетической установки ОЦР-контура через малый тепловой перепад, вырабатываемый на турбине. Больше количество теплоты можно снять только за счёт увеличения рас-

хода низкокипящего рабочего тела, что не всегда оптимально. Увеличение расхода рабочего тела влечёт за собой увеличение массогабаритных характеристик теплообменного, вспомогательного и турбинного оборудования.

На современном этапе развития замкнутых паротурбинных циклов на низкокипящем рабочем теле целесообразным является выбор варианта, который позволит покрывать собственные потребности теплогенерирующей установки в электрической энергии на уровне 5–10 % без дополнительного сжигания топлива.

При определении целесообразности внедрения ОЦР-цикла необходимо учитывать, что в каждом отдельном случае надо проводить оценку количества и параметров низкопотенциальной теплоты, а также полное технико-экономическое обоснование.

Разработкой и внедрением установок занимаются известные фирмы США, Японии, Бельгии, Израиля, Италии, России и других стран [12; 13; 17; 18].

В настоящее время разработаны установки использования низкопотенциальных ВЭР с температурой 100–120°C, рабочим теплоносителем фреоном R142b и КПД 0,08–0,10. Для каждой температуры источников ВЭР существует необходимость определения теплоносителя, который обеспечивает оптимальный КПД цикла Ренкина. Поэтому для определённого конкретного источника ВЭР разрабатывается тепловая схема установки с её характерными параметрами и рабочим теплоносителем. С понижением температуры источника ВЭР растёт стоимость и сложность оборудования (до 1500–2000\$ за 1 кВт мощности) [10].

Для утилизации ВЭР с температурой 150–170°C используются энергетические установки с рабочим теплоносителем изобутаном ( $C_4H_{10}$ ) или смесью (изобутан/изопентан).

Для ВЭР с более высокими температурами (200–250°C) разрабатываются тепловые схемы с n-пентаном и гексаном.

Для утилизации ВЭР с температурой выше 300–350°C органические теплоносители изучались недостаточно. Поэтому разрабатывались тепловые схемы установок с водяным паром и диоксидом углерода ( $CO_2$ ).

Из приведённого выше описания способов внедрения ОЦР-установок можно сделать вывод, что данная отрасль электро-

и теплотехники в достаточной мере проработана, чтобы создавать промышленные образцы. Поэтому ОЦР-установки находят всё более широкое применение в энергетических комплексах. Основными мировыми лидерами, освоившими данную отрасль на текущий момент, являются компании ORMAT, Electrathern, Turboden, которые имеют широкий спектр мощностей, компоновочных решений, а также блочно-модельных решений, упрощающих монтаж и эксплуатацию ОЦР-устройств.

Однако при кажущейся проработанности проблемы проектирования ОЦР-генераторов, одним из сдерживающих факторов повсеместного внедрения данных установок являются высокие капитальные затраты вследствие неоптимальных массогабаритных характеристик теплообменного оборудования. Преодоление этого фактора лежит в составлении таких математических моделей, которые наиболее достоверно описывают процессы в системах испарения, конденсации и привода.

Интересной, с точки зрения анализа, является работа [7]. В ней рассмотрена трёхступенчатая парогазовая установка, в которой предложена схема глубокой утилизации теплоты уходящих газов за счёт внедрения ОЦР-технологии. Схема реализована следующим образом: верхний цикл выражен циклом Брайтона, средний – циклом Ренкина на водяном паре, а нижний – ОЦР. Принципиальная схема ПГУ представлена на рис. 1 [7].

В представленной ПГУ температура перед турбиной высокого давления составляет порядка 1527°C (1800 К), температура уходящих газов верхнего цикла составляет около 477°C (750 К), средний пароводяной цикл функционирует в диапазоне температур 527°C (800 К) перед турбиной среднего давления и 77°C (350 К) в конденсаторе. Температура конденсации в ОЦР может быть ниже 0°C (273 К) за счёт применения воздушных конденсаторов в северных регионах страны, где около восьми месяцев в году температура окружающего воздуха ниже 0°C.

Средний пароводяной цикл можно заместить органическим циклом Ренкина с более низкой температурой конденсации рабочего тела, нежели чем вода, тем самым опустив температурную границу конденсации для более глубокой утилизации тепла в среднем цикле и роста КПД во всей установке в целом.







Рис. 2. Полугерметичный двухвинтовой детандер HSE.85 [19].

провод, заложенный в грунте. В ходе математического моделирования были применены инструменты инженерных методик расчёта и программного комплекса ANSYS CFX. С помощью различных подходов моделирования при рассмотрении данного вопроса предлагалось определить оптимальную протяжённость и диаметр трубопровода. В результате исследования выяснилось, что расхождение конечной длины трубопровода при одинаковой степени сухости пара (0,00) составило более 30 м. По инженерной методике расчёта длина составила около 107 м, тогда как длина, полученная в программном комплексе ANSYS CFX, составила 70 м. При этом не рассматривались: тепловой контакт трубы с грунтом, политропность реального процесса, изменение теплофизических свойств теплоносителя из-за гидравлических потерь.

Как известно, уменьшить габариты теплообменного аппарата возможно и за счёт форсирования теплообмена. Существующие способы интенсификации теплообмена осуществляются за счёт повышения турбулентности потока путём оребрения, создания полусферических выступов по длине стенки канала, шнековых вставок и других методов. Указанные решения нашли широкое применение в проектировании [4; 6].

Менее изученным способом роста теплопроводности рабочего тела является добавление в него незначительных примесей (менее доли процента) наносuspензий в виде оксидов металлов, что увеличивает теплопроводность до 60 % [11]. Данное решение в совокупности с применением детандера из-за его неприхот-

ливости в работе может способствовать росту компактности ОЦР-установки.

Идея утилизации теплоты за счёт ОЦР предложена достаточно давно, но внедрение этой технологии требует решения задач оптимизации проектирования и расчёта всех агрегатов, включённых в схему по утилизации низкопотенциальной энергии [1–4; 6–8; 16–20].

По-прежнему продолжают исследования по совершенствованию методик расчёта агрегатов испарения и конденсации рабочего тела ОЦР, а также турбин и детандеров [1–4; 6–8; 16–20].

## ВЫВОДЫ

Проведённый анализ позволяет сделать вывод, что основным фактором, который препятствует широкому внедрению ОЦР-технологии, является высокая стоимость теплообменного оборудования ввиду повышенных теплообменных поверхностей. В связи с этим проектирование таких миниэлектро- и энергокомплексов требует совершенствования методов математического моделирования для достоверного определения режимов работы и характеристик каждого из агрегатов. К таким востребованным методам следует отнести методологии расчёта испарительных и конденсационных систем, а также турбин и детандеров, работающих на органических низкокипящих рабочих телах. Решение вышеуказанных задач способно привести к удешевлению теплообменного оборудования, а, следовательно, снижению издержек на проектирование ОЦР-генераторов.



## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дмитренко А. В., Гайтров М. Ю. Модернизация тепловой системы железнодорожных станций // Мир транспорта. – 2017. – № 3 (70). – С. 94–103. [Электронный ресурс]: <https://mitr.elpub.ru/jour/article/view/1216/1492>. Доступ 09.01.2021.
2. Дмитренко А. В., Колосова М. А. Модернизация энергетических комплексов железнодорожных станций и возможности использования низкопотенциальной теплоты на основе органического цикла Ренкина // Наука и техника транспорта. – 2017. – № 3. – С. 39–45. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30607270&>. Доступ 09.01.2021.
3. Дмитренко А. В., Колосова М. А. Особенности расчёта характеристик аппаратов энергетических комплексов, использующих низкопотенциальную энергию // Мир транспорта. – 2020. – № 6 (91). – С. 108–117. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-6-108-117>
4. Dmitrenko, A. V., Kolosova, M. A. The possibility of using low-potential energy based on the organic Rankine cycle and determination of hydraulic characteristics of industrial units based on the theory of stochastic equations and equivalence of measures. JP Journal of Heat and Mass Transfer, 2020, Vol. 21, Iss. 1, pp. 125–132. DOI: 10.17654/HM021010125.
5. Карабарин Д. И., Михайленко С. А. Особенности проектирования установок органического цикла Ренкина // Журнал СВУ. Техника и технологии. – 2019. – № 6. – С. 733–745. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-proektirovaniya-ustanovok-organicheskogo-tsikla-renkina/pdf>. Доступ 09.01.2021.
6. Дмитренко А. В., Колосова М. А. Определение гидравлических характеристик промышленных агрегатов на основе стохастической теории гидродинамики // XII Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики. – Уфа, 20–24 августа 2019. – Сб. трудов. – Т. 2. – С. 342–343. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41394385>. Доступ 09.01.2021.
7. Галашов Н. Н., Цибульский С. А. Параметрический анализ схемы парогазовой установки с комбинацией трёх циклов для повышения КПД при работе в северных газодобывающих районах // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – № 5. – С. 44–55. [Электронный ресурс]: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/53444>. Доступ 09.01.2021.
8. Gequn, Shu; Lina, Liu; Hua, Tian; Haiqiao, Wei; Xiaofei, Xu. Performance comparison and working fluid analysis of subcritical and transcritical dual-loop organic Rankine cycle (DORC) used in engine waste heat recovery. Energy Conversion and Management, October 2013, Vol. 74, pp. 35–43. DOI:10.1016/j.enconman.2013.04.037.
9. Engine. Enhanced Geothermal Innovative Network for Europe. Workshop 5. Electricity generation from Enhanced Geothermal Systems. 14–16 September 2006. Strasbourg, France. Workshop abstracts. [Электронный ресурс]: [http://engine.brgm.fr/web-offlines/conference-Electricity\\_generation\\_from\\_Enhanced\\_Geothermal\\_Systems\\_-\\_Strasbourg\\_France\\_Workshop5/resource-9-2-ENGINE\\_BOA\\_WS5\\_Strasbourg\\_14-16092006.pdf](http://engine.brgm.fr/web-offlines/conference-Electricity_generation_from_Enhanced_Geothermal_Systems_-_Strasbourg_France_Workshop5/resource-9-2-ENGINE_BOA_WS5_Strasbourg_14-16092006.pdf). Доступ 09.01.2021.
10. Gimelli, A., Luongo, A., Muccillo, M. Efficiency and cost optimization of a regenerative Organic Rankine Cycle power plant through the multi-objective approach. Applied Thermal Engineering, 2017, Vol. 114, pp. 601–610. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.12.009>.
11. Masoudeh, A. Heat transfer mechanisms in water-based nanofluids. Doctoral Dissertation. University of Louisville, 2015. [Электронный ресурс]: <https://ir.library.louisville.edu/etd/2311/>. Доступ 09.01.2021.
12. Kler, A. M., Zharkov, P. V., Epishkin, N. O. Parametric optimization of supercritical power plants using gradient methods. Energy, 2019, Vol. 189, 116230. DOI: 10.1016/j.energy.2019.116230.
13. Lorenz, M. Biomasse – KWK mit einem Dampf – Schraubenmotor. Köhler & Ziegler Anlagentechnik GmbH, 2006. [Электронный ресурс]: <https://docplayer.org/23822543-Biomasse-kwk-mit-einem-dampf-schraubenmotor.html/>. Доступ 09.01.2021.
14. Дунаевский Н. И. Техничко-экономические основы теплофикаций. – М.–Л.: Госэнергоздат, 1952. – 256 с.
15. Гришутин М. П., Севастьянов А. П., Селезнев Л. И., Федорович Е. Д. Паротурбинные установки с органическими рабочими телами. – Л.: Машиностроение, 1988. – 219 с.
16. Клер А. М., Маринченко А. Ю., Потанина Ю. М., Жарков П. В. Оптимизационные исследования энергогенерирующих установок на древесной биомассе, реализующих органический цикл Ренкина // Известия РАН. Энергетика. – 2019. – № 6. – С. 110–120. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41549138>. DOI: 10.31857/S0002331019060062.
17. Öhman, H. Implementation and evaluation of a low temperature waste heat recovery power cycle using NH<sub>3</sub> in an Organic Rankine Cycle. Energy, 2012, Vol. 2, pp. 74–80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.02.074>.
18. Schuster, A., Karellas, S., Kakaras, E., Spliethoff, H. Energetic and economic investigation of Organic Rankine Cycle applications. Applied Thermal Engineering, 2008, Vol. 29, pp. 1809–1817. [Электронный ресурс]: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-005440531/document>. Доступ 09.01.2021.
19. Повышение эффективности поршневых двигателей с использованием технологии органического цикла Ренкина. [Электронный ресурс]: [http://bitzer.ru/povishenie\\_ffektivnosti\\_porshnevih\\_dvigateli\\_s\\_ispolzovaniem\\_tehnologii\\_organicheskogo\\_tsikla\\_renkina](http://bitzer.ru/povishenie_ffektivnosti_porshnevih_dvigateli_s_ispolzovaniem_tehnologii_organicheskogo_tsikla_renkina). Доступ 09.01.2021.
20. Генерация «чистой» электроэнергии из избыточного тепла. Органический цикл Ренкина с детандером BITZER HSE.85. [Электронный ресурс]: <http://www.aerkom.ru/unitORC/>. Доступ 09.01.2021.
21. Кишалов А. Е., Зиннатуллин А. А. Математическое моделирование конденсации рабочего тела в системе отдачи тепла холодному источнику энергоустановки малой мощности // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2019. – № 5 (148). – С. 934–949. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskoe-modelirovanie-kondensatsii-rabochego-tela-v-sisteme-otdachi-tepla-holodnomu-istochniku-energoustanovki-maloy/pdf>. Доступ 09.01.2021. ●

Информация об авторах:

**Дмитренко Артур Владимирович** – доктор технических наук, профессор кафедры теплоэнергетики железнодорожного транспорта Российского университета транспорта, Москва, Россия, [atmsv@yandex.ru](mailto:atmsv@yandex.ru).

**Колпаков Михаил Игоревич** – инженер АО «Мосгипротранс», аспирант кафедры теплоэнергетики железнодорожного транспорта Российского университета транспорта, Москва, Россия, [fdiolit@mail.ru](mailto:fdiolit@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 25.01.2021, одобрена после рецензирования 23.04.2021, принята к публикации 26.04.2021.



**НОРМИРОВАНИЕ  
ТРУДА**

**108**

*Организационный дизайн  
и аналитические методы  
применительно к руководителям.*



**ОБСЛУЖИВАНИЕ  
ИНФРАСТРУКТУРЫ**

**116**

*Планирование контингента  
и кибернетика.*



**ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ 122**

*Курс ИКАО по обеспечению  
безопасности на ВПП.*

**ОБРАЗОВАНИЕ И КАДРЫ**





## Нормирование труда руководителей транспортной компании на принципах организационного дизайна



Владимир НИКИТИН



Михаил КАЛАШНИКОВ



Олеся ЛИТВИНОВА

*Владимир Николаевич Никитин<sup>1</sup>, Михаил Юрьевич Калашников<sup>2</sup>, Олеся Сергеевна Литвинова<sup>3</sup>*

<sup>1,3</sup> ОАО «РЖД», Москва, Россия.

<sup>2</sup> Центр организации труда и проектирования экономических нормативов – филиал ОАО «РЖД», Москва, Россия.

✉ <sup>3</sup>[litvinovaos@center.rzd.ru](mailto:litvinovaos@center.rzd.ru).

### АННОТАЦИЯ

Анализ и нормирование управленческой деятельности – это важный инструмент в современной экономике, используемый для повышения эффективности деятельности компании за счет оптимизации существующих управленческих процессов, снижения проявлений бюрократизма и устранения избыточных процессов, а, следовательно, и административных звеньев, которые не только не создают ценность, но и являются препятствием для нормального функционирования системы управления. Применение аналитических методов к труду руководителей – актуальный и мощный инструмент повышения производительности и эффективности управленческой деятельности.

В статье описываются результаты исследования инструментов анализа и нормирования управленческой деятельности, внедряемых в холдинге «Российские железные дороги» на основе принципов организационного дизайна.

Предметом изучения является управленческая деятельность как объект применения современных методов анализа и нормирования труда. Цель исследования – анализ возможности

и целесообразности использования современных методов анализа и нормирования труда на примере крупной транспортной компании. Задачами исследования, результаты которого приведены в данной статье, являются: выявление предпосылок применения методов анализа и нормирования управленческой деятельности; оценка возможностей применения инструментов функционального анализа организационных единиц для целей повышения эффективности управленческой деятельности; описание технологий нормирования управленческой деятельности на примере холдинга «Российские железные дороги».

Исследование базируется на использовании методов процессной аналитики, функционального анализа, нормирования труда и организационного дизайна.

Основной результат исследования – методические подходы к анализу и нормированию управленческого труда в транспортной компании. Данные подходы позволяют обобщать нормы труда руководителей, планировать их численность и внедрять современные управленческие практики в холдинге «Российские железные дороги».

**Ключевые слова:** организационный дизайн, нормирование труда руководителей, процессное управление, процесс, функция, норма труда, метод нормирования труда, транспорт, железные дороги.

**Для цитирования:** Никитин В. Н., Калашников М. Ю., Литвинова О. С. Нормирование труда руководителей транспортной компании на принципах организационного дизайна // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 2 (93). С. 108–115. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-15>.

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

## ВВЕДЕНИЕ

Руководители компаний, как правило, скептически относятся к самой возможности проанализировать и пронормировать их труд. Основным аргументом при этом является то, что в отличие от простых технологических процессов, в которых все операции в цепочке производственного цикла и их последовательность очевидны и могут быть измерены, а результатом труда является материальный, осязаемый продукт (услуга), труд управленца – это интеллектуальная и аналитическая деятельность, требующая творческого, нестандартного мышления, которая зависит от сложности и срочности поставленных задач, возникающих с неопределённой периодичностью. Этот подход нашёл широкое отражение в различных источниках, в том числе учебниках, по подготовке будущих менеджеров [1–4].

Однако, как показывает отечественная и зарубежная практика, проблема анализа и нормирования трудозатрат для работников управленческого труда: служащих, специалистов, руководителей вполне решаема [5; 6].

Сегодня развитие IT и телекоммуникаций, применение современных технологий работы с большими данными, искусственного интеллекта, ведения электронного учёта, бизнес-аналитики и делопроизводства, технических средств фиксации и распознавания отдельных операций, а также различных методик и платформ для моделирования бизнес-процессов, в том числе управленческих, предлагает нам широкие возможности для анализа трудозатрат и стоимости управленческого персонала. Вероятно, в ближайшем будущем мир достигнет такого уровня оцифровки процессов, при котором будет возможно узнать трудозатраты любого человека за любой период времени, запросив эту информацию в глобальной базе данных в режиме «online».

*Цель* исследования – показать возможность и целесообразность использования современных методов анализа и нормирования труда на примере крупной транспортной компании.

Задачами исследования, результаты которого приведены в данной статье, являются:

- выявление предпосылок применения методов анализа и нормирования управленческой деятельности в организации;
- оценка возможностей применения инструментов функционального анализа органи-

зационных единиц для целей повышения эффективности управленческой деятельности;

- описание технологий нормирования управленческой деятельности на примере холдинга «Российские железные дороги».

Исследование базируется на использовании *методов* процессной аналитики, функционального анализа, нормирования труда и организационного дизайна.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Опыт холдинга РЖД

Авторами статьи было проведено исследование на базе одной из крупнейших транспортных компаний мира – ОАО «РЖД», являющейся системообразующей компанией холдинга «Российские железные дороги». В сложной многоуровневой и многопрофильной компании работают более 55 тысяч руководителей разного уровня. Это даёт обширный эмпирический материал для исследования проблемы нормирования управленческой деятельности.

В настоящее время в холдинге развёрнута глобальная работа по внедрению организационного дизайна и процессного управления. В 2020 году введено в действие Положение об организационном дизайне в холдинге «РЖД», которое содержит основные правила и требования к проектированию организационно-функциональных моделей подразделений компании и управлению организационными изменениями<sup>1</sup>.

В соответствии с принципами данного положения, фундаментом для измерения и оптимизации трудозатрат работников, включая административно-управленческий персонал, является комплексное применение инструментов организационного дизайна, таких как анализ управленческих процессов и анализ организационно-функциональной модели компании [7–9].

Анализ и нормирование управленческой деятельности – это целевая задача компании. Её возможно будет решить на основе формирования процессной модели холдинга, разложенной до событийной цепочки нормируемых операций, взаимосвязанной с организационно-функциональной моделью на базе единой информационной платформы. На сегодняшний день на стадии формирования

<sup>1</sup> Положение об организационном дизайне в холдинге «РЖД», утверждено распоряжением ОАО «РЖД» от 26.07.2019 г. № 1606р.



Таблица 1

Наименование организационной единицы	Задача	Функция	Продукт (результат выполнения функции)	Потребитель (кому нужен результат выполнения функции?)
Служба экономики и финансов (пример)	Формулировка задачи должна кратко описывать результат, на достижение которого направлена деятельность структурного подразделения	Совокупность однородных специализированных работ (действий, операций), производимых структурным подразделением для решения поставленных перед ним задач	Максимально конкретно описанный результат выполнения функции, имеющий ценность для потребителя	Внешний или внутренний потребитель результата выполнения функции (другая организационная единица или должностное лицо, физическое лицо и т.п.)

данной модели, анализ и измерение трудозатрат управленческой деятельности ведётся точно [10; 11]. В первую очередь данная работа проводится в отношении проблемных областей деятельности для реализации организационных целевых проектов по совершенствованию организационно-функциональной структуры и системы управления, а также при создании новых организационных единиц.

Проведение функционального анализа или анализа бизнес-процессов осуществляется после предварительной диагностики системы управления, когда в отношении работы бизнес-единиц справедливы следующие утверждения [12]:

1. Решения принимаются долго или не принимаются вовсе.
2. Функция выполняется, но она не создаёт ценности для внешнего или внутреннего клиента.
3. Есть ответственность за выполнение функции, но полномочий недостаточно.
4. Ответственность за выполнение функции «размыта» между несколькими организационными единицами.

5. Обязанности между руководителями (подразделениями) не распределены.

6. Организационная единица (работник) выполняет работу, незакреплённую ни в одном организационном документе.

7. Имеется избыточный документооборот.

8. Загрузка персонала разных организационных единиц распределена неравномерно. В одних случаях наблюдается регулярное нахождение на работе за пределами рабочего времени, в других – хроническая недогрузка.

Источниками информации для проведения функционального анализа являются положения о подразделениях, приказы о распределении обязанностей между руководителями, должностные инструкции, анализ продуктов (услуг), бизнес-аналитики, системы делопроизводства, показатели деятельности компании, а также результаты опроса её сотрудников.

Для визуализации анализа используется множество различных аналитических форм.

Пример визуализации функционального анализа организационной единицы, позво-

Таблица 2

Функция (Ф)	Организационные единицы (ОЕ)					
	ОЕ1	ОЕ2	ОЕ3	ОЕ4	ОЕ5	...
Ф1	I	I	A	<b>R</b>	—	—
Ф2	C	<b>R</b>	R	—	A	I
Ф3	A	<b>R</b>	C	I	C	R
Ф4	—	<b>R</b>	C	<b>R</b>	I	A
Ф5	C	<b>R</b>	—	—	C	I
Ф6	I	<b>R/A</b>	C	<b>R</b>	I	C
Ф7	I	—	C	<b>R/A</b>	—	C
...						

Таблица 3

Функция (Ф)	Организационные единицы (ОЕ)					
	ОЕ1	ОЕ2	ОЕ3	ОЕ4	ОЕ5	...
Ф1	С	I	R	R	A	C
Ф2	I	—	A	C	A	I
Ф3	R	C	C	I	A	R
Ф4	R/I	C	A	R/C	I	R/I
Ф5	R	R	A	I	C	R
Ф6	—	A	R	—	R/C	—
Ф7	A	—	R	R	—	R/A
...						

ляющего выявить несоответствие задач и функций, «пустые» функции, не создающие ценность для компании, приведён в табл. 1.

### Использование матрицы RACI

Для функционального анализа также широко используется матрица RACI, которая даёт возможность через роли и обязанности организационных единиц (Responsible – Исполнитель, Accountable – Ответственный, Consulted – Консультант, Informed – Информированный) наглядно увидеть избыточность, дублирование функций, несбалансированность распределения полномочий и ответственности между участниками при выполнении этих функций, а также возможную неравномерность загрузки между организационными единицами [13–17].

Вертикальный анализ матрицы RACI позволяет определить обязанности и полномочия каждой организационной единицы, объективно оценить уровень нагрузки, например:

- Много роли «исполнитель» R – возможна «перенагрузка» организационной единицы (табл. 2).

- Много роли «ответственный» A – рекомендуется распределить ответственность более равномерно (табл. 3).

- Нет ролей R и A – нецелесообразность существования данной организационной единицы в выполнении рассматриваемых функций (табл. 4).

- Нет пустых ячеек – возможна «перенагрузка» всех организационных единиц (табл. 5).

Горизонтальный анализ матрицы RACI отражает качество организации работы, например:

- Много роли «исполнитель» R – возможно дублирование функций (табл. 6).

- Много роли «ответственный» A – «размывание» ответственности (табл. 7).

- Много роли «консультант» C – излишние согласования существенно увеличивают время исполнения функции (табл. 8).

Таблица 4

Функция (Ф)	Организационные единицы (ОЕ)					
	ОЕ1	ОЕ2	ОЕ3	ОЕ4	ОЕ5	...
Ф1	I	I	—	R	C	R/C
Ф2	C	—	A	C	—	I
Ф3	—	C	C	A	R/C	—
Ф4	C	C	A	C	I	R/I
Ф5	C	C	R	—	I	A
Ф6	—	I	C	I	R/A	C
Ф7	I	-	C	I	R	—
...						



Функция (Ф)	Организационные единицы (ОЕ)					
	ОЕ1	ОЕ2	ОЕ3	ОЕ4	ОЕ5	...
Ф1	<b>A</b>	<b>C</b>	R	—	C	C
Ф2	<b>I</b>	<b>C</b>	C	C	A	I
Ф3	<b>I</b>	<b>R</b>	C	—	R	R
Ф4	<b>C</b>	<b>R</b>	R	R	I	A
Ф5	<b>R</b>	<b>C</b>	C	A	R	R
Ф6	<b>C</b>	<b>C</b>	A	—	I	I
Ф7	<b>I</b>	<b>A</b>	—	I	C	R
...						

• Нет роли «информируемый» I – нецелесообразность выполнения данной функции (нет потребителя результата выполнения функции) (табл. 9).

Матрица RACI является универсальной моделью. Она используется для функционального анализа или анализа процессов любого уровня.

#### Другие методы и инструменты нормирования управленческого труда

Поскольку административно-управленческий персонал работает в основном с информацией и документами, в качестве вспомогательного инструмента для функционального анализа применяется матрица документооборота. Она формируется в произвольной форме и должна содержать сведения о наименовании организационной единицы, выполняемых функциях, перечне формируемых документов (приказов, распоряжений, положений, регламентов, отчётов и др.) в результате выполнения данных функций, сведения об участвующих в согласовании, потребителях и заказчиках каждого конкретного документа, способ передачи информации. Матрица документооборота позволяет выявить

такие проявления бюрократизма, как формирование невостребованных документов, ненужных отчётов, избыточные корпоративные процедуры согласования документов, нерациональная система документооборота между организационными единицами, а следовательно, факты выполнения не создающей ценность для компании работы административно-управленческого персонала.

Функциональный анализ удобен тем, что позволяет быстро и точно выявить недостатки в организационном дизайне отдельных организационных единиц компании. Однако он не даёт полноценного видения того, как управленческие функции распределены и увязаны между собой в цепочке создания продукта, каким способом они выполняются, как их выполнение влияет на создание этого продукта [18; 19].

Для целей анализа и нормирования затрат в компании практикуется комплексное применение процессного и функционального анализа, в том числе управленческих с использованием программного обеспечения ARIS. Это позволяет выявлять «пустые» управленческие процессы (отдельные «пустые» функции в процессе), дублирующие

Таблица 6

Функция (Ф)	Организационные единицы (ОЕ)					
	ОЕ1	ОЕ2	ОЕ3	ОЕ4	ОЕ5	...
Ф1	<b>R</b>	<b>R</b>	<b>R</b>	<b>R</b>	<b>R</b>	<b>R</b>
Ф2	C	R	A	—	A	I
Ф3	A	C	C	I	C	R
Ф4	A	—	C	R	I	A
Ф5	C	I	I	R	R	A
Ф6	C	A	R	—	I	C
Ф7	C	R	—	A	R	I
...						

Таблица 7

Функция (Ф)	Организационные единицы (ОЕ)					
	ОЕ1	ОЕ2	ОЕ3	ОЕ4	ОЕ5	...
Ф1	R	I	R	R	A	C
Ф2	C	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
Ф3	—	C	R/A	I	A	R
Ф4	A	—	C	R	I	—
Ф5	C	I	I	R	R	A
Ф6	C	—	R	—	I	R/A
Ф7	C	R	—	C/I	R	C/I
...						

Таблица 8

Функция (Ф)	Организационные единицы (ОЕ)					
	ОЕ1	ОЕ2	ОЕ3	ОЕ4	ОЕ5	...
Ф1	R	I	C	R	R/C/A	C
Ф2	C	R	A	—	C	I
Ф3	A	K	C	I	I	R
Ф4	R	—	C	R	I	A
Ф5	<b>C</b>	<b>C/I</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
Ф6	C	A	R	—	I	C
Ф7	C	R	—	A	R	I
...						

функции, избыточные коммуникации в кросс-функциональном взаимодействии (совещания, согласования и др.), процедуры контроля, не влияющее на ключевые показатели конечного продукта, а, следовательно, излишние трудозатраты административно-управленческого персонала.

Источниками для построения и анализа моделей управленческих процессов являются действующие локальные документы компании (стандарты, положения, регламенты выполнения процессов, а также регламенты кросс-функционального взаи-

модействия между бизнес-единицами компании и др.).

Данная работа на постоянной основе осуществляется как подразделениями компании – владельцами процессов, так и специализированными подразделениями: Центром организации труда и проектирования экономических нормативов и центрами повышения эффективности труда персонала в составе региональных центров корпоративного управления.

По результатам проведения процессного (функционального) анализа для выявленных избыточных функций или коммуникаций

Таблица 9

Функция (Ф)	Организационные единицы (ОЕ)					
	ОЕ1	ОЕ2	ОЕ3	ОЕ4	ОЕ5	...
Ф1	<b>R</b>	—	<b>R</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>C</b>
Ф2	C	R	A	—	C	I
Ф3	A	C	C	I	I	R
Ф4	—	—	C	C	I	R/C
Ф5	C	C/I	—	R	R	A
Ф6	R	A	R	—	I	C
Ф7	C/I	R	—	A	R	I
...						



оцениваются трудозатраты руководителей и специалистов на выполнение работы, не создающей ценность.

Для изучения данных непроизводительных затрат рабочего времени, а также определения трудозатрат на выполнение всего процесса (функции) в целом, используется комплексный сбор данных методом опросных листов, интервьюирования работников, сбор статистических данных за длительный период, запрос экспертных мнений. Для подтверждения экспертных оценок проводятся контрольные замеры, определяющие коэффициент доверия экспертам.

В целях нормирования (определения оптимальной численности) специалистов и служащих административно-управленческого персонала проектируются модели процессов (функциональные модели) «как должно быть» без учёта функций, не создающих ценность. Затем выделяются модели процессов (подпроцессов, функций), которые могут быть пронормированы. Это процессы, которые могут быть разложены на простые операции, и время их выполнения возможно измерить.

Для нормирования трудозатрат конкретной организационной единицы необходимо иметь полную базу данных моделей всех процессов, в которых она участвует.

К моделям процессов для возможности их использования как инструмента при нормировании труда работников предъявляются следующие требования [20–22]:

- установлены все участники процесса до уровня конкретного работника;
- известны цикличность и вариативность протекания процесса;
- выбраны и при необходимости продифференцированы по сложности статистически значимые измерители операций. Для сквозного бизнес-процесса должен применяться измеритель, унифицированный для всех участников процесса;
- определены потери рабочего времени, не зависящие от участников процесса, а также объём вспомогательных работ.

Наиболее эффективен данный метод для нормирования трудозатрат специалистов и служащих при выполнении ими функций типовых (стандартных) процессов (например, планирование эксплуатационных расходов, анализ заработной платы, формирование бизнес-аналитики и др.).

Определение трудозатрат на выполнение проектной и нормотворческой деятельности также осуществляется экспертным способом, на основе данных о доле рабочего времени, затраченного на выполнение тех или иных функций, связанных с разработкой нормативных документов или работой в составе проектных команд.

Учитывая особенности структуры труда руководителей, для нормирования их численности разрабатывается технология определения дифференцированных нормативов численности руководителей и звеньев управления через нахождение с учётом анализа влияющих факторов нормативных предельных значений взаимосвязанных ключевых индикаторов организационно-функциональной модели: нормы управляемости, количества прямых подчинённых, соотношения численности руководителей и подчинённых в организационной единице.

## Выводы

К основным результатам исследования относятся адаптированные для компаний холдинга «Российские железные дороги» инструменты анализа и нормирования управленческой деятельности. Выявлены предпосылки внедрения указанных инструментов, «триггеры» работы бизнес-единиц, сигнализирующие о проблемных зонах управленческой деятельности. Предложены формы визуального анализа и интерпретации управленческой информации, позволяющие систематизировать и отнормировать управленческие функции.

На основе описанной в статье методологии факторного нормирования в настоящее время для подразделений компании разрабатываются методические рекомендации по оценке баланса рабочего времени с учётом применения процессного подхода. Данный документ отражает основные этапы определения трудозатрат работников интеллектуального труда, а также пути решения проблем, возникающих при использовании метода, и примеры пошагового исследования интеллектуального труда.

Это позволит подразделениям компании получать максимально достоверные результаты о трудозатратах за минимальное время и самостоятельно формировать нормы труда.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бычин В. Б., Шубенкова Е. В., Малинин С. В. Организация и нормирование труда: Учебник. – М: Инфра-М, 2019. – 248 с.
2. Бычин В. Б., Шубенкова Е. В., Малинин С. В. Нормирование труда: Учебник. – М: Инфра-М, 2017. – 348 с.
3. Voronkova, O. Y., Yankovskaya, V., Kovaleva, I., Epishkin, I., Iusupova, I., Berdova, Y. Sustainable territorial development based on the effective use of resource potential. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 2019, Vol. 7, Iss. 1, pp. 662–673. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41793700>. [https://doi.org/10.9770/jesi.2019.7.1\(47\)](https://doi.org/10.9770/jesi.2019.7.1(47)).
4. Macheret, D. A., Epishkin, I. A. Mutual Influence of Institutional and Transport Factors of Economic Development: Retrospective Analysis. *Journal of institutional studies*, 2017, Vol. 9, Iss. 4, pp. 80–100. DOI: <https://dx.doi.org/10.17835/2076-6297.2017.9.4.080-100>.
5. Алексашина Т. В., Ананченкова П. И., Белкин М. В. и др. Современные проблемы экономики труда и пути их решения. – Москва–Берлин: ООО «Директмедиа Паблишинг», 2019. – 491 с.
6. Kenis, P., Raab, J. Back to the Future: Using Organization Design Theory for Effective Organizational Networks. *Perspectives on Public Management and Governance*, June 2020, Vol. 3, Iss. 2, pp. 109–123. DOI: <https://doi.org/10.1093/ppmgov/gvaa005>.
7. Никитин В. Н., Благодатский П. В., Градобоев В. В., Литвинова О. С. Роль организационного дизайна в обеспечении экономической безопасности компании // Вклад транспорта в национальную экономическую безопасность: Тр. IV Международной научно-практ. конференции, Москва, 11 апреля 2019 года / Под ред. Р. А. Кожевникова, Ю. И. Соколова, З. П. Межох. – М.: Российский университет транспорта, 2019. – С. 81–83. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41881203>. Доступ 16.03.2021.
8. Никитин В. Н., Благодатский П. В., Крючкова А. С. Система индикаторов организационно-функциональной модели как один из ключевых инструментов организационного дизайна компании // ЭТАП: экономическая теория, анализ, практика. – 2020. – № 1. – С. 136–146. DOI: <https://doi.org/10.24411/2071-6435-2020-10008>.
9. Благодатская А. А., Благодатский П. В. Разработка организационно-функциональной модели компании в процессе планирования её деятельности // Экономика и предпринимательство. – 2020. – № 11 (124). – С. 1164–1167. DOI: <https://doi.org/10.34925/EIP.2020.124.11.229>.
10. Никитин В. Н., Градобоев В. В., Благодатский П. В. Роль ключевых индикаторов организационной структуры компании в обеспечении национальной экономической безопасности // Вклад транспорта в национальную экономическую безопасность: Тр. III Международной научно-практ. конференции, Москва, 12 апреля 2018 г. / Под ред. Р. А. Кожевникова, Ю. И. Соколова, З. П. Межох. – М.: Российский университет транспорта, 2018. – С. 30–33. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37052705>. Доступ 16.03.2021.
11. Никитин В. Н., Благодатский П. В., Елистратова Д. А. Функционально-стоимостной анализ как инструмент совершенствования системы управления предприятием // Экономика железных дорог. – 2020. – № 3. – С. 60–70. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42556260>. Доступ 16.03.2021.
12. Zhuravlev, P. V., Epishkin, I. A., Chernukhina, G. N., Varlamova, V. V., Voronkova, O. Yu. Development of human capital in the system of economic categories of work. *European Research Studies Journal*, 2018, Vol. 21, Special Iss. 3, pp. 107–117. DOI: <https://doi.org/10.35808/ersj/1365>.
13. Cabanillas, C., Resinas, M., Ruiz-Cortés, A. A template-based approach for responsibility management in executable business processes. *Enterprise Information Systems*, 2017, Vol. 12, Iss. 5, pp. 550–586. DOI: <https://doi.org/10.1080/17517575.2017.1390166>.
14. Woo-yeon, Lee; Seung-hoon, Lee; Chengquan, Jin; Chang-taek, Hyun. Development of the RACI Model for Processes of the Closure Phase in Construction Programs. *Sustainable Construction Project and Program Management*, 2021, Vol. 13, Iss. 4, pp. 1806. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13041806>.
15. Ghoshal, S. Bad management theories are destroying good management practices. *Academy of Management Learning and Education*, 2005, Vol. 4 (1), pp. 75–91. DOI: <https://doi.org/10.5465/AMLE.2005.16132558>.
16. Kofman, A., Yaeli, A., Klinger, T., Tarr, P. Roles, Rights, and Responsibilities: Better Governance Through Decision Rights Automation. *Proceedings of the 2009 ICSE Workshop on Software Development Governance, SDG, 2009*, pp. 9–14. DOI: <https://doi.org/10.1109/SDG.2009.5071330>.
17. Cabanillas, C., Resinas, M., Ruiz-Cortés, A. Mixing RASCI Matrices and BPMN Together for Responsibility Management, Conference: VII Jornadas en Ciencia e Ingeniería de Servicios (JCIS'11), 2011. DOI: <https://doi.org/10.13140/2.1.4769.6960>.
18. Puranam, P. Correction to: Human–AI collaborative decision-making as an organization design problem. *Journal of Organization Design*, 2021, Vol. 10. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41469-021-00095-2>.
19. Lupova-Henry, E., Blihi, S., Dal Zotto, C. Designing organised clusters as social actors: a meta-organisational approach. *Journal of Organization Design*, 2021, Vol. 10, pp. 35–54. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41469-021-00092-5>.
20. Mosca, L., Gianecchini, M., Campagnolo, D. Organizational Life Cycle Models: A Design Perspective. *Journal of Organization Design*, 2021, Vol. 10, pp. 3–18. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41469-021-00090-7>.
21. Anjos, F., Reagans, R. Networks in the balance: an agent-based model of optimal exploitation. *Journal of Organization Design*, 2020, Vol. 9, Article number 20. [Электронный ресурс]: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1186/s41469-020-00084-x.pdf>. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41469-020-00084-x>.
22. Prahalad, C. K. Managing discontinuities: The emerging challenges. *Research-technology management*. Lancaster, 1998, Vol. 41, No. 3, pp. 14–22. DOI: <https://doi.org/10.1080/08956308.1998.11671205>. ●

### Информация об авторах:

**Никитин Владимир Николаевич** – кандидат экономических наук, начальник Департамента по организации, оплате и мотивации труда ОАО «РЖД», Москва, Россия, [nikitinvn@center.rzd.ru](mailto:nikitinvn@center.rzd.ru).

**Калашников Михаил Юрьевич** – директор Центра организации труда и проектирования экономических нормативов – филиала ОАО «РЖД», Москва, Россия, [kalashnikovmi@center.rzd.ru](mailto:kalashnikovmi@center.rzd.ru).

**Литвинова Олеся Сергеевна** – заместитель начальника отдела по работе с филиалами организационно-штатного управления Департамента по организации, оплате и мотивации труда ОАО «РЖД», Москва, Россия, [litvinoaos@center.rzd.ru](mailto:litvinoaos@center.rzd.ru).

Статья поступила в редакцию 16.02.2021, одобрена после рецензирования 23.04.2021, принята к публикации 29.04.2021.





## Применение цифровизации при планировании контингента по техническому обслуживанию железнодорожной инфраструктуры



Николай КОВАЛЕНКО



Виталий БУЧКИН



Юрий БЫКОВ



Елена ГРИНЬ

*Николай Иванович Коваленко<sup>1</sup>, Виталий Алексеевич Бучкин<sup>2</sup>, Юрий Александрович Быков<sup>3</sup>, Елена Николаевна Гринь<sup>4</sup>*

<sup>1,2,3,4</sup> Российский университет транспорта, Москва, Россия.

✉ <sup>1</sup> [kni50@mail.ru](mailto:kni50@mail.ru).

### АННОТАЦИЯ

С точки зрения обеспечения производственных интересов железнодорожной инфраструктурной компании, на примере ОАО «РЖД», анализируются существующие и предлагаются новые подходы к планированию численности работников, занятых обслуживанием инфраструктуры.

Существующая методика планирования контингента, занятого техническим обслуживанием железнодорожной инфраструктуры, строится на использовании средних значений параметров мониторинга состояния сооружений инфраструктуры, земляного полотна и путевых устройств (КОСП) по месячным, а также осенним и весенним сплошным осмотрам и проверкам пути. Полученные объемы работ, только в неявном виде отражают контингент обслуживающего персонала, его занятость и эффективность работы каждого работника.

Современное направление на цифровизацию и кибернетизацию всех процессов, при организации технического обслуживания инфраструктуры путевого комплекса преду-

матривает максимальную социальную адаптацию производственных процессов к запросам собственников, задачам организаторов и интересам исполнителей. Планирование занятости исполнителей только по объему выполняемых работ не позволяет выполнить цифровизацию и социальную кибернетизацию отдельного исполнителя.

Синтагматической составляющей такого алгоритма являются ежемесячное суммарное отработанное время, которое определяется фактической занятостью каждого исполнителя. Парадигматической составляющей таких моделей должна быть одинаковая ежедневная численность исполнителей. На стадии предварительной оценки применения предлагаемого алгоритма цифровизации и социальной кибернетизации планирования контингента рассматривается увеличение производительности труда, ориентировочно на 20–25 %, повышение качества работ и более эффективной оценки деятельности каждого исполнителя.

**Ключевые слова:** железная дорога, мониторинг инфраструктуры, техническое обслуживание железнодорожной инфраструктуры; цифровизация и кибернетизация технического обслуживания инфраструктуры, социальная адаптация производственных процессов, паттерн, синтагматическая модель.

*Для цитирования:* Коваленко Н. И., Бучкин В. А., Быков Ю. А., Гринь Е. Н. Применение цифровизации при планировании контингента по техническому обслуживанию железнодорожной инфраструктуры // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 2 (93). С. 116–121. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-16>.

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

## ВВЕДЕНИЕ

Существующая система технического обслуживания железнодорожной инфраструктуры базируется на проведении мониторинга её состояния и осуществляется в виде комиссионных осмотров, а также использования результатов оценки специальными техническими диагностическими средствами и оборудованием в соответствии с нормативами, регламентирующими содержание пути и объектов инфраструктуры<sup>1</sup> [1–5].

В ОАО «РЖД» методика планирования контингента, занятого техническим обслуживанием железнодорожной инфраструктуры, строится на использовании средних значений параметров состояния инфраструктуры по результатам месячных, а также осенних и весенних сплошных комиссионных осмотров и проверок пути, сооружений инфраструктуры, земляного полотна и путевых устройств (КОСП)<sup>2</sup>.

Работы, выполняемые бригадами линейных и эксплуатационных участков на предстоящий месяц, планируются дорожным мастером совместно с бригадами по текущему содержанию пути, земляного полотна и сооружений, с учётом результатов мониторинга инфраструктуры. Разработанные планы-графики утверждаются начальником дистанции пути в виде графика (ПУ-74)<sup>3</sup>. При разработке текущих графиков ПУ-74 учитываются работы за предыдущий месяц. При подведении итогов выполненных работ рассматриваются предыдущий и выполненный текущий графики ПУ-74.

Базовыми нормативными документами для расчётов нормируемых объёмов работ, нормируемой численности работников, нормируемой продолжительности являются ТНК<sup>4</sup> или ТНВ<sup>5</sup>, а также другие нормативные документы, уста-

навливаемые Центральной (ЦДИ) или региональными (ДИ) дирекциями инфраструктуры филиалами ОАО «РЖД».

Полученные таким образом объёмы работ только в неявном виде могут отражать контингент обслуживающего персонала, его занятость и эффективность работы каждого работника.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Существующей методикой<sup>3</sup> определение плановых заданий на выполнение работ осуществляется по зависимости (1):

$$N_{\text{отраб. часы}} = \frac{V_{\text{работ}} \times H_{\text{ТНК}} \times K_t}{K_{\text{измер}}}, \quad (1)$$

где  $V_{\text{работ}}$  – объём работ, который принимается по результатам оценки состояния элементов инфраструктуры средствами диагностики (проводится в КОСП или при текущем контроле);

$N_{\text{отраб. часы}}$  – нормированное время на выполнение работы;

$H_{\text{ТНК}}$  – норма времени на выполнение единицы работ из ТНК или ТНВ;

$K_t$  – коэффициент температурной зоны;

$K_{\text{измер}}$  – единица измерения по данной работе.

Норма выработки ( $N_{\text{вырабо}}$ ) за рабочую смену (8,2 часа) определяется по формуле (2):

$$N_{\text{вырабо}} = \frac{8,2}{N_{\text{ТНК}} \times K_t} \times K_{\text{измер}}, \quad (2)$$

где  $N_{\text{ТНК}}$  – норма времени из ТНК;

$N_{\text{вырабо}}$  – норма выработки;

$K_{\text{измер}}$  – единицы измерения.

Время на проход к месту работ, на пропуск поездов и время работы сигнальщиков определяется по фактическим данным.

Объём выполненных работ по факту должен совпадать с заданными объёмами работ (на рабочий день, неделю, месяц).

Фактически отработанные часы могут быть меньше нормированных. Нормированные часы должны соответствовать заданию на выполнение работ.

Нормы выработки за 1 час на 1 человека определяются делением величины измерителя данного вида работ на норму времени, а за смену – умножением полученного результата на продолжительность смены.

В настоящее время принятое в производственной деятельности и на транспорте направление на цифровизацию и кибернетизацию всех процессов [6] при организации технического обслуживания инфраструктуры путевого комплекса предусматривает максимальную социаль-

<sup>1</sup> Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути, утверждённая распоряжением ОАО «РЖД» № 2288р от 14.11.2016 г.

<sup>2</sup> О комплексной оценке состояния пути (в редакции распоряжения ОАО «РЖД» от 20.01.2012 г. № 72р.

<sup>3</sup> Журнал учёта работ по текущему содержанию и оценке состояния пути и путевых устройств (ПУ-74), утверждённый распоряжением ОАО «РЖД» от 2 мая 2012 г. № 857 р.

<sup>4</sup> Технические обоснованные нормы времени на работы по текущему содержанию пути (ТНК). Департамент пути и сооружений ОАО «РЖД». – М., 2009.

<sup>5</sup> Технические обоснованные нормы времени на работы по текущему содержанию пути (ТНВ) (в редакции распоряжения ОАО «РЖД» от 05.08.2015 г. № 1976р) (7-е издание, исправленное и дополненное) в 2-х частях.



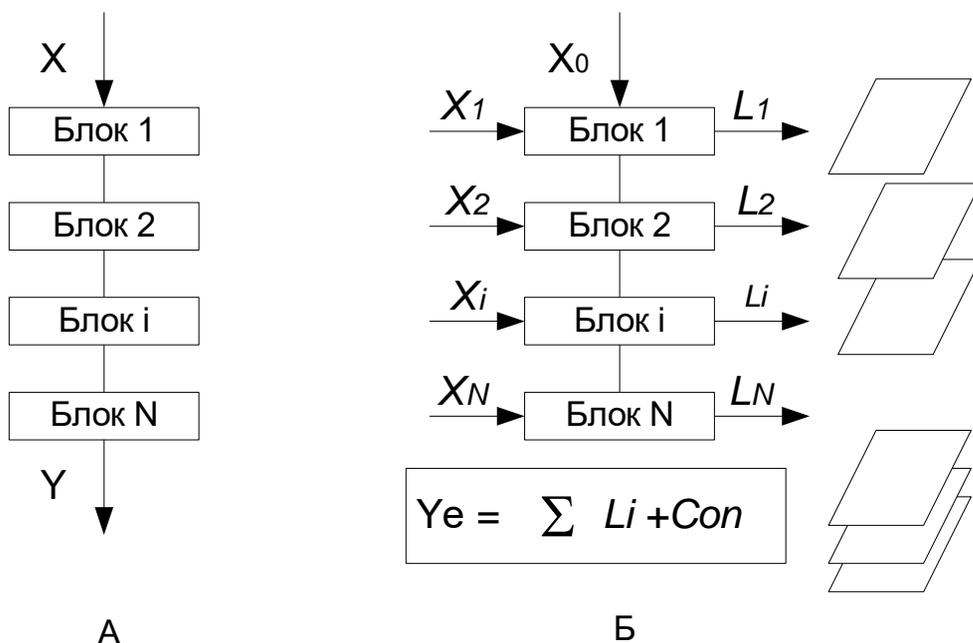


Рис. 1. Два типа моделей принятия решений [9].

ную адаптацию производственных процессов к запросам собственников, задачам организаторов и интересам исполнителей.

Существующая практика планирования производственного процесса занятости исполнителей по техническому обслуживанию инфраструктуры путевого хозяйства по объёму выполняемых работ не позволяет выполнить цифровизацию и социальную кибернетизацию отдельного исполнителя.

Социальная кибернетика направлена на создание теоретической основы для оценки и управления системами кооперативного распределения и учёта деятельности каждого исполнителя [6]. Она построена на выявлении доли участия каждого исполнителя в общем производственном процессе при детализации технологии рабочих операций. Парадигма, которую социальная кибернетика использует при анализе любой системы, заключается в основном законе социальной кибернетики. В нём говорится, что все трудовые коллективы проходят шесть уровней социальных контрактов своих подсистем:

- агрессия ⇔ выживание;
- бюрократия ⇔ следуйте нормам и правилам;
- конкуренция ⇔ моя выгода – ваша потеря;
- решение ⇔ раскрытие индивидуальных намерений;

- комплементарность [7] ⇔ сотрудничество в единых интересах;

- свобода выбора (субсидиарность [8]) ⇔ способность управлять своими собственными действиями и самоконтролироваться.

Прохождение этих шести фаз взаимоотношений даёт основу для социо-кибернетической оценки любой эволюционной системы, к которым можно отнести трудовые коллективы. Причём эти фазы проявляются по-разному в системах разных порядков.

Последовательная модель принятия решений является простейшей кибернетической моделью. Она строится по принципу (3):  $(A \wedge B) \rightarrow P$ . (3)

В выражении (3)  $A$  – событие, которое воздействует на объект  $B$ , что приводит к результату  $P$ . Выражение (3) есть классическое выражение следования, в котором символ  $\rightarrow$  называется импликацией. Выражение в скобках называется посылкой или антецедентом.  $P$  называется следствием или аподозом. Последовательные логические действия и события хорошо проверяются логическими выражениями. Они образуют логическое следование в виде совокупности выражений (3), которые задают логические цепочки принятия решений. Последовательные действия и модели хорошо моделируются с помощью графов. На рис. 1 даны два типа моделей принятия решений [9].

Прямой алгоритм представляет собой последовательную цепочку действий, которые приведены на рис. 1а. В схеме на рис. 1а выход текущего этапа служит входом для следующего этапа. Такие модели называют секвенциями, поскольку в них входы/выходы этапов согласованы. Однако прерывание этапа прерывает всю цепочку. В этой модели существует одна общая рациональность действий.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Модель указанного выше типа может быть применена при разработке алгоритма планирования объёмов работ по техническому обслуживанию инфраструктуры путевого хозяйства, по ликвидации выявленных неисправностей средствами диагностики. При моделировании такого процесса нет привязки к конкретным исполнителям. Цифровизация и кибернетизация таких процессов состоит в фиксировании запланированного или выполненного события, а также отсутствия такого события, в виде запланированного или выполненного, которое должно было быть по результатам диагностики.

В настоящее время исходными материалами для разработки таких секвентивных моделей могут служить данные мониторинга с использованием систем ЕК АСУИ (единая корпоративная автоматизированная система управления инфраструктурой); КАС АНТ (комплексная автоматизированная система учёта, контроля устранения отказов в работе технических средств и анализа их надёжности); КАСАТ (комплексная автоматизированная система учета, расследования и анализа случаев технологических нарушений), комиссионных осмотров (осенних, весенних, месячных и т.д.), данных путеизмерительных и дефектоскопных средств контроля и других материалов оценки состояния инфраструктуры. Особенность разработки такой модели для планирования объёмов работ по техническому обслуживанию инфраструктуры заключается в том, что при невыполнении какой-либо рабочей операции в цепочке секвентивной модели результат не достигается.

На рис. 1б приведена последовательно-параллельная модель формирования решений. Эта модель направлена на получение результатов на каждом уровне этапа принятия решений, но при наличии независимых входов для каждого этапа. Такая стратифицированная модель – это совокупность частных моделей в общей модели принятия решений. Можно говорить о синта-

матических моделях по горизонталям (уровням) и парадигматических [10; 11] моделях по вертикали. В таких моделях существует один общий результат и совокупность индивидуальных подходов.

К таким моделям следует отнести алгоритм планирования занятости рабочей силы. Синтагматической составляющей такого алгоритма является ежемесячное суммарное отработанное время, которое определяется фактической занятостью каждого исполнителя. Парадигматической составляющей таких моделей должна быть одинаковая ежедневная численность исполнителей.

Несмотря на разнообразие моделей, существуют общие правила и принципы, по которым формируют модели социальной кибернетики. При формировании моделей применяют следующие правила:

- фиксируется область интересов как информационная ситуация ( $A_1$ ), в которой планируется проводить управление;
- в информационной ситуации фиксируются условия ( $A_2$ ), определяемые совокупностью параметров или ограничениями;
- для условий задачи фиксируются известные эвристики ( $A_3$ ) в виде паттернов [12] или правил, по которым можно провести вычисления;
- если подходящая модель на основе эвристики не найдена, на основе аналитических исследований ( $A_4$ ) формируется новая модель;
- для принимаемого решения фиксируются условия ( $A_5$ ) его корректности и допустимости;
- выбираются критерии оценки эффективности решения ( $A_6$ );
- проводят технологические работы ( $B$ ) и получают результат ( $P$ ).

Эта методика имеет логическую форму:  $(A_1 \wedge A_2 \wedge (A_3 \dot{\wedge} A_4) \wedge B \rightarrow (P \wedge A_5) \rightarrow A_6$ . (4)

Существует много вычислительных моделей, которые можно отнести к конструктивным объектам, например, концептуальная модель [13], которая является теоретической предпосылкой построения вычислительной модели.

На рис. 2 дана схема построения модели принятия решений.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В качестве стратегического направления по цифровизации и социальной кибернетизации планирование контингента по техническому обслуживанию железнодорожной инфраструктуры является дополнением к существующей



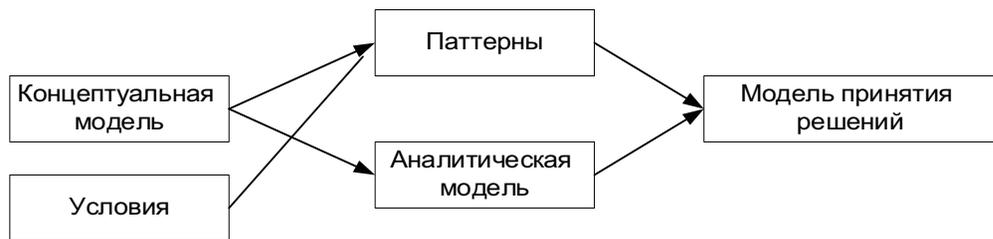


Рис. 2. Схема построения модели [13].

методике установления плановых заданий на выполнение работ (зависимость 1) через определение численности исполнителей для выполнения задания.

Базовыми нормативными документами для расчётов нормируемой численности работников и нормируемой продолжительности работ являются, например, ТНК<sup>4</sup> или ТНВ<sup>5</sup>.

Алгоритм цифровизации и социальной кибернетизации планирования контингента состоит в том, что после установления плановых заданий на выполнение работ (зависимость 1) производится определение продолжительности работ в рабочих часах или рабочих днях, как частного от деления планового объёма работ на продолжительность рабочего дня.

Далее процесс планирования осуществляется с установленным, например, согласно ТНК или ТНВ, контингентом исполнителей.

При формировании «Ведомости выполнения запланированных работ» необходимо придерживаться следующего принципа. Вначале по рабочим дням распределяется наиболее трудоёмкая работа с наибольшей численностью исполнителей. При неполной загруженности рабочих дней до конца месяца, исполнители по данной работе на следующий день переводятся на другую работу (принцип «лестницы»).

В случае если следующая работа не требует занятости всех исполнителей, исполнители по первой работе переводятся на следующие работы по частям. При этом следует учитывать, что следующие работы по технологическим особенностям могут иметь определённую численность, которая указывается в ТНК или ТНВ на эту работу.

После завершения формирования занятости исполнителей по первой работе на других работах до конца месяца, можно приступать к распределению оставшихся нераспределённых работ. Принцип распределения остаётся аналогичным.

При формировании исполнителей для одиночных работ возможен вариант привлечения нескольких исполнителей для ускорения их выполнения. Недопустима ситуация дополнения или сокращения численности бригад, которые указываются в ТНК или ТНВ на данную работу.

С целью контроля правильности распределения работ и исполнителей рекомендуется по каждому рабочему дню вести учёт исполнителей.

При осуществлении операции распределения рабочих дней для случаев неполной продолжительности рабочего дня может рассматриваться несколько вариантов решения [14; 15]. Например, перераспределение рабочих часов неполного рабочего дня на проход к месту работ и обратно, на пропуск поездов и другие потери производственного и технологического характера. При этом следует выполнить перерасчёт продолжительности рабочего времени на весь период выполнения данной работы. Это приведёт к уменьшению продолжительности рабочих дней и уменьшению выработки, что необходимо учитывать при расчёте объёма работ.

Другим вариантом распределения может быть перераспределение избыточного времени в виде дополнительного времени к каждому рабочему дню как фактор повышения производительности труда. Такой вариант возможен при распределении полученной расчётом неполной занятости в пределах 30–40 % полного рабочего дня.

После распределения работ и исполнителей в соответствии с заданными объёмами и продолжительностью составляется ведомость явочной численности исполнителей.

Явочная численность работников – это один из показателей, который используется в системе учёта количества исполнителей на отдельно взятом предприятии. Кроме этого, такой подсчёт

поможет провести анализ работы предприятия, выявить недостатки в работе коллектива и дать возможность для проведения оптимизации на отдельно взятом предприятии.

После составления ведомости явочной численности исполнителей составляется ведомость списочной численности исполнителей.

Списочная численность исполнителей работ по текущему содержанию пути на дистанции, которые базируются на материалах, например ТНК или ТНВ, определяется суммированием количества исполнителей по каждой работе, которая предусматривается по технологии.

## ВЫВОДЫ

Приведённые в статье исследования направлены на развитие механизма планирования трудовых ресурсов, их оптимизацию, рациональное распределение и контроль использования.

Алгоритм цифровизации и социальной кибернетизации планирования контингента позволяет вести оперативный учёт каждого исполнителя в соответствии с результатами выполненных работ и занятостью исполнителей согласно явочной численности. Дальнейшим развитием разработанного алгоритма рассматривается процесс автоматизированного оперативного учёта и контроля планирования занятости исполнителей, а также выполнения их обязанностей при реализации поставленных производственных задач.

На стадии предварительной оценки применения предлагаемого алгоритма цифровизации и социальной кибернетизации планирования контингента рассматривается увеличение производительности труда, ориентировочно на 20–25 %, повышение качества работ и более эффективная оценка деятельности каждого исполнителя.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Milne, D., Le Pen, L., Watson, G., Thompson, D., Powrie, W., Hayward, M., Morley, S. Monitoring and repair of isolated trackbed defects on a ballasted railway.

Transportation Geotechnics, 2018, Vol. 17 (Part A), pp. 61–68. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trgeo.2018.09.002>. DOI:10.1016/j.trgeo.2018.09.002.

2. Yongxiang, Z., D'Ariano, A., Bisheng, H., Qiyuan, P. Microscopic optimization model and algorithm for integrating train timetabling and track maintenance task scheduling. Transportation Research Part B: Methodological, 2019, Vol. 127, pp. 237–278. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2019.07.010>.

3. Wen, Haijun; Hou, Shiwang; Liu, Zhaohua; Liu, Yongjiang. An optimization algorithm for integrated remanufacturing production planning and scheduling system. Chaos, Solitons & Fractals, 2017, Vol. 105, pp. 69–76. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2017.10.012>.

4. Dewilde, T., Sels, P., Catrysse, D., Vansteenwegen, P. Robust railway station planning: An interaction between routing, timetabling and platforming. Journal of Rail Transport Planning & Management, 2013, Vol. 3, Iss. 3, pp. 68–77. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2013.11.002>

5. Norman, T. L. Electronic Access Control (Second Edition), Elsevier, Inc., 2018, ISBN 978-0-12-805465-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2015-0-04450-1>.

6. Розенберг И. Н., Цветков В. Я. Социальная кибернетика в цифровизации транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. – 2020. – № 3 (15). – Т. 3. – С. 3–14.

7. Богоутдинов Б. Б., Цветков В. Я. Применение модели комплементарных ресурсов в инвестиционной деятельности // Вестник Мордовского университета. – 2014. – № 4. – Т. 24. – С. 103–116.

8. Логинова А. С. Оценка применимости субсидиарного управления // Актуальные проблемы современной науки. – 2015. – № 3. – С. 297–301.

9. Цветков В. Я., Мордвинов В. А. Подход к систематизации алгоритмов // Онтология проектирования. – 2018. – № 4 (26). – Т. 7. – С. 388–397.

10. Елсуков П. Ю. Парадигматические и синтагматические отношения в дихотомическом делении // Славянский форум. – 2019. – № 3 (25). – С. 19–26.

11. Katz, M., Domshlak, C. Optimal admissible composition of abstraction heuristics. Artificial Intelligence, August 2010, Vol. 174, Iss. 12–13, pp. 767–798. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.artint.2010.04.021>.

12. Щенников А. Н. Использование паттернов при конструировании алгоритмов // Славянский форум. – 2018. – № 1 (19). – С. 96–103.

13. Корнаков А. Н. Концептуальная модель процессов информационного управления промышленной организации // Вестник Московского Государственного Областного Университета / Экономика. – 2010. – № 2. – С. 95–100.

14. Kovalenko, N., Grin, E., Kovalenko, N. The determination of the repairs of railway track considering the reliability and risk level. E3S Web of Conferences, 2020, Vol. 157, 06031. DOI: [doi.org/10.1051/e3sconf/202015706031](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015706031).

15. Коваленко Н. И., Гринь Е. Н. Технология предотвращает угрозу // Мир транспорта. – 2012. – № 5. – С. 138–142. ●

### Информация об авторах:

**Коваленко Николай Иванович** – доктор технических наук, профессор кафедры пути и путевого хозяйства Российского университета транспорта, Москва, Россия, [kni50@mail.ru](mailto:kni50@mail.ru).

**Бучкин Виталий Алексеевич** – доктор технических наук, профессор кафедры проектирования и строительства железных дорог Российского университета транспорта, Москва, Россия, [buchkin@mail.ru](mailto:buchkin@mail.ru).

**Быков Юрий Александрович** – доктор технических наук, профессор кафедры проектирования и строительства железных дорог Российского университета транспорта, Москва, Россия, [ia\\_bykov@mail.ru](mailto:ia_bykov@mail.ru).

**Гринь Елена Николаевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры пути и путевого хозяйства Российского университета транспорта, Москва, Россия, [miit-grin@rambler.ru](mailto:miit-grin@rambler.ru).

Статья поступила в редакцию 02.02.2021, одобрена после рецензирования 23.04.2021, принята к публикации 05.05.2021.





# ИКАО: подготовка персонала по обеспечению безопасности на ВПП

## ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ

ИКАО будет сотрудничать с МСА, ИАТА и КАНСО в рамках новой инициативы по подготовке персонала в области обеспечения безопасности операций на взлётно-посадочной полосе.

Новый онлайн-курс был специально разработан для диспетчеров УВД и сотрудников служб аэронавигационной информации. Он будет проводиться по предва-

рительной записи, осуществляемой с апреля 2021 года на веб-сайте ИКАО по глобальной подготовке авиационных специалистов. Курс дополняет существующие учебные программы, разработанные в сотрудничестве с Международным советом аэропортов (МСА) для эксплуатационного персонала аэропортов, а также с ИАТА для лётных экипажей.

*Ключевые слова:* ИКАО, обучение, управление воздушным движением, взлётно-посадочная полоса, онлайн-курс.

**В** связи с вступлением в силу в ноябре этого года нового Глобального формата сообщаемых данных о состоянии поверхности ВПП (GRF) ИКАО согласилась сотрудничать с Международной ассоциацией воздушного транспорта (ИАТА) и Организацией по аэронавигационному обслуживанию гражданской авиации (КАНСО) в рамках новой совместной учебной программы по формату GRF.

Этот новый онлайн-курс, специально разработанный для диспетчеров УВД и сотрудников служб аэронавигационной информации, будет проводиться по предварительной записи, которая начнётся в апреле 2021 года на веб-сайте ИКАО по глобальной подготовке авиационных специалистов. Он дополняет существующие курсы, разработанные в сотрудничестве с Международным советом аэропортов (МСА) для эксплуатационного персонала аэропортов, а также с ИАТА для лётных экипажей.

«Безопасность операций на ВПП по-прежнему остаётся самой большой проблемой в области обеспечения безопасности полётов, на долю которой по данным ИКАО приходится более половины всех авиационных проис-

шествий, связанных с коммерческими авиаперевозками», – подчеркнула в Монреале Генеральный секретарь ИКАО д-р Фан Лю.

«В последние годы мы сотрудничаем в рамках многочисленных инициатив по сокращению во всем мире авиационных происшествий и инцидентов, связанных с безопасностью операций на ВПП, и та напряжённая работа, которая была проделана для достижения международного консенсуса по новому формату GRF в дополнение к этому новому совместному учебному курсу в поддержку внедрения данного формата, призвана помочь обеспечить существенное повышение безопасности операций на ВПП».

Формат GRF ИКАО вступает в силу с 4 ноября 2021 года и устанавливает новую методику оценки и представления информации о состоянии поверхности ВПП для улучшения взлётно-посадочных характеристик.

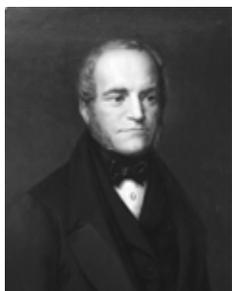
Новое соглашение является первым в своём роде соглашением между тремя международными организациями и создаёт основу для будущего сотрудничества в рамках глобальных инициатив по повышению безопасности полётов.

На основе пресс-релиза ИКАО от 5 марта 2021 года: <https://www.icao.int/Newsroom/Pages/ICAO-to-partner-with-IATA-and-CANSO-on-new-runway-safety-training-initiative.aspx>.

Для цитирования: ИКАО: подготовка персонала по обеспечению безопасности на ВПП // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 2 (93). С. 122. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-17>.

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

# Т



## МОСКВА– САНКТ-ПЕТЕРБУРГ 124

*И 170 лет спустя дорога остаётся  
первой, теперь уже по скорости.*



## КОЛЕСО ИСТОРИИ



## ПРЕСС- АРХИВ 137

*Что впечатляло читателей  
журнала «Железнодорожное  
дело» 111 лет назад? Скорости  
гигантских пассажирских паровозов.*





ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656.22

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-19-2-18>

# Первая железнодорожная магистраль России



Дмитрий ЛЕВИН

*Дмитрий Юрьевич Левин*

*Международная ассоциация учёных, преподавателей и специалистов, Москва, Россия.*

✉ [levindu@yandex.ru](mailto:levindu@yandex.ru).

## АННОТАЦИЯ

Статья посвящена 170-летию первой в России железнодорожной магистрали Санкт-Петербург–Москва. Железнодорожный транспорт страны, как основной вид путей сообщения, имеет богатую историю и замечательные патристические, трудовые и научно-технические традиции. Надо их помнить. Возникновение железных дорог в России, как и в других странах мира, сопровождало множество проблем, требующих решения: способы финансирования, виды собственности, ширина колеи, разновидности тяги и сигнализации, организация движения, конкуренция с другими видами

транспорта и т.д. Очень поучителен этап возникновения железных дорог в России. Какие крайние точки зрения были высказаны и сколько времени потребовалось, чтобы начать возводить магистрали? После осознания необходимости строительства железных дорог стало очевидным, что требуются такие затраты, к которым не готовы ни государство, ни кредиты, ни частные предприниматели.

Чтобы лучше представить, как происходило строительство первой железнодорожной магистрали в России, в статье приведено множество иллюстраций.

Ключевые слова: железнодорожная магистраль, становление и строительство, изыскания и проектирование, строительные участки, мосты, вокзалы, станции, сигнализация, паровозы, вагоны.

*Для цитирования:* Левин Д. Ю. Первая железнодорожная магистраль России // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 2 (93). С. 124–136. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-18>.

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

8 июля 1826 г. Ведомство путей сообщения впервые обсудило ряд предложений о строительстве железных дорог в России и отклонило их, отметив, что подобные дороги экономически невыгодны, и что их трудно содержать в условиях нашего климата, в особенности в зимнее время. И в дальнейшем в России было много противников железных дорог. Среди них главноуправляющий путями сообщения К. Ф. Толь, министр государственных имуществ граф Киселёв, министр финансов Е. Ф. Канкрин, военный министр граф Чернышёв, министр императорского двора князь Волконский, Председатель Государственного совета князь Васильчиков, министр внутренних дел Л. А. Перовский, руководитель комиссии проектов и смет Ведомства путей сообщения М. Г. Дестрем и ряд других правительственных чиновников.

Аргументы противников строительства железных дорог выразил министр финансов Е. Ф. Канкрин: *«Следует не только считать превышающей всякую действительную возможность мысль о покрытии России целой сетью железных дорог, но одно сооружение железной дороги от Петербурга до Казани признать на несколько веков преждевременным. Правительство может вовлечь своих подданных в величайшие убытки. Паровая тяга ни в коем случае не может быть допущена на железных дорогах, так как вследствие отсутствия в России каменного угля повлечёт за собой истребление лесов. Для перевозки войск железные дороги представляются также неудовлетворительными, так как должны на этот предмет иметь огромное число повозок (вагонов), кои в обыкновенное время вовсе не нужны. Беспощадный ввоз чугуна и рельсов повлечёт выход из государства капиталов и, наконец, отчуждение земель под полотно дороги и разные постройки потребуют громадных затрат».* Особенно много критиков было среди хозяев каналов и дилижансов, боявшихся потерять монополию на перевозку грузов и пассажиров.

Пока шли подобные дискуссии, в Англии и США развернулось массовое строительство железных дорог. И всё же в России было немало людей, считавших, что именно в стране с огромными пространствами нужны железные дороги, поскольку они являются надёжным средством сообщения, позволяющим регулярно перемещать большие массы грузов с минимальной затратой сил и средств.

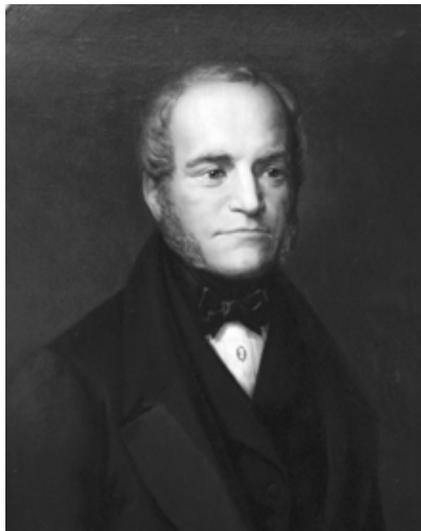


Рис. 1. Франц Антон Герстнер.



Рис. 2. Император Николай I.

В августе 1834 г. по приглашению горного ведомства для организации строительства железных дорог в России в Петербург приехал известный австрийский инженер, профессор Венского политехнического института Франц Антон Герстнер (рис. 1). В сентябре Герстнер выехал из Петербурга через Москву и Казань на Урал для ознакомления с реальными условиями и возможностями железнодорожного строительства.

По возвращении в Петербург он подал императору Николаю I (рис. 2) обстоятельную записку, в которой изложил свои соображения о строительстве железных дорог. В ней отме-





Рис. 3. Николай I обсуждает проекты железных дорог.

чалось, что «... нет такой страны в мире, где железные дороги были бы более выгодны и даже необходимы, чем в России, так как они дают возможность сокращать большие расстояния путём увеличения скорости передвижения».

Герстнер предлагал построить дорогу между Петербургом и Москвой, потом соединить Москву с основным водным путём страны – Волгой – линией Москва–Казань или Москва–Нижегород (рис. 3). Затем линию между Петербургом и Казанью он предполагал соединить с Одессой или Таганрогом, указывая, что при содействии пароходства по Волге и Каспийскому морю, будет обеспечена азиатская торговля России и устранена конкуренция Англии. Но для начала он считал целесообразным построить какую-нибудь небольшую линию, чтобы рассеять сомнения относительно возможности эксплуатировать железные дороги в зимних условиях. Только затем, опираясь на полученный опыт, планировал приступить к сооружению магистрали от Петербурга до Москвы.

Несколько позже это предложение включало лишь строительство линии Санкт-Петербург–Москва, а затем всё свелось к строительству на акционерной основе опытной железной дороги Санкт-Петербург–Павловск (рис. 4).

9 марта 1835 г. Герстнер представил ходатайство «о разрешении ему учредить общество с капиталом 3 млн руб. для сооружения железной дороги от Петербурга до Царского Села, Павловска и Колпино в виде первого опыта постройки этого рода путей, дабы постройкой этой доказать полезность же-

лезной дороги для публики, акционеров и государства».

8 или 19 июня 1835 г. император Николай I собственноручно на записке Герстнера написал резолюцию. На резолюции нет даты, а она могла бы стать датой основания железных дорог в России. Содержание резолюции буквально следующее: «Читал с большим вниманием и убеждён, как и прежде был, в пользу сего дела: но не убеждён в том, чтобы Герстнер нашёл довольно капиталов, чтобы начать столь огромное предприятие. На сей предмет желаю от него объяснений письменных; потом если нужно призову к себе. Дорогу в Царское Село дозволяю, буде представит мне планы».

Таким образом, несмотря на все сомнения со стороны ближайших государственных лиц в целесообразности железных дорог, их участь была решена волей и убеждением в полезности и необходимости для страны императором Николаем I. Царскосельская железная дорога была построена в 1837 г. Опыт Царскосельской железной дороги показал, что в суровых климатических условиях России железные дороги могут работать устойчиво и приносить доход её владельцам.

На очередь встал вопрос о строительстве новых линий в России. Все предложения как отечественных, так и зарубежных предпринимателей и финансистов исходили при этом из акционерной формы собственности. На постройку железной дороги между Санкт-Петербургом и Москвой, поступило много разных предложений и ходатайств, но все они были отклонены.

Наиболее солидное предложение при содействии П. П. Мельникова и графа А. А. Боб-

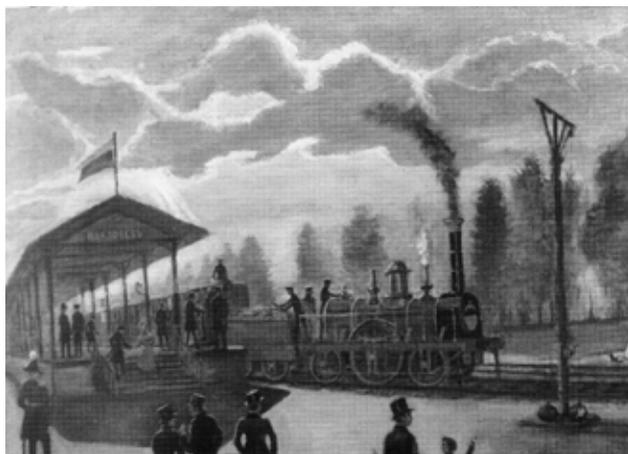


Рис. 4. Царскосельская железная дорога.

ринского, который был весьма близок к государю, поступило от немецких банкиров Дюфура и Гаркарта. Они были известны тем, что являлись первыми банкирами обширного торгового города Лейпцига и учредили Дрезденскую железную дорогу, одну из лучших в Европе в техническом отношении и приносящую хороший доход.

Предложение заключалось в следующем (по описанию П. П. Мельникова): железная дорога Санкт-Петербург–Москва строится образуемым акционерным обществом. В расчётах предполагали перевозку 200 000 пассажиров и 24 млн пудов груза в год.

*«Из среды компании, состоящей из иностранных, преимущественно немецких капиталистов и имеющей пребывание в Лейпциге, образуется Правление директоров, пребывающее в Петербурге. Правительственная Комиссия будет наблюдать за действием главного директора, причём правительство может быть ближайшим участником дела, оставляя за собою часть акций. Главное преимущество, которого просят банкиры, состоит в поручительстве правительства за четырёхпроцентный доход на акции, каковое поручительство не поведёт ни к какой приплате из казны, ежели доход дороги будет более 4 %, а между тем будет исполнено без пожертвования со стороны государства важное и полезное дело и соорудится незабвенный памятник настоящему царствованию».* В дальнейшем такое поручительство правительства за получение акционерами определённого дохода нашло большое распространение.

Это предложение и приложенные к нему обоснования поступили к Николаю I, который

повелел образовать специальный Комитет по их изучению и выработке предложений.

На протяжении всего 1841 г. шла жёсткая борьба между сторонниками строительства дороги Санкт-Петербург–Москва и её противниками. Окончательное решение было принято 13 января 1842 г. на специальном совещании в присутствии Государя императора.

Завершая прения совещания, Государь сказал, что он пришёл к заключению о полезности железной дороги Санкт-Петербург–Москва по её влиянию на промышленность и торговлю, и что дорога должна быть устроена средствами правительства и оставаться в его руках. В начале 1842 года был издан соответствующий указ. Так начиналась первая государственная (казённая) железная дорога в России.

Так как все министры были против устройства железной дороги Санкт-Петербург–Москва, то Николай I (рис. 2) для осуществления этого предприятия учредил Особый комитет и председателем назначил наследника престола цесаревича Александра Николаевича, будущего императора Александра II.

Уже 29 января 1842 г. состоялось первое заседание этого комитета под председательством наследника-цесаревича. На этом заседании был подготовлен проект Указа Николая I Правительствующему Сенату, образована Строительная комиссия, министру финансов было поручено выделить финансовые средства, необходимые для строительства железной дороги между столицами.

30 января 1842 г. Строительная комиссия под председательством графа Бенкендорфа





Рис. 5. Инженер генерал-лейтенант П. П. Мельников.



Рис. 6. Инженер генерал-майор Н. О. Крафт.



Рис. 7. Граф П. А. Клейнмихель.



Рис. 8. Памятник Николаю I в Петербурге.

начала свою работу, было поручено производство изысканий и составление сметы полковникам П. П. Мельникову (рис. 5) и Н. О. Крафту (рис. 6). Решение Комитета было утверждено 1 февраля 1842 г. Николаем I.

11 августа 1842 г. после назначения Главнoуправляющим графа П. А. Клейнмихеля (рис. 7) были произведены изменения в высших органах, ведавших железными дорогами.

Указом Николая I Правительствующему Сенату от 11 августа 1842 г. была упразднена Строительная комиссия и учреждён Департамент железных дорог, в обязанности которого вошло ведение всеми железными дорогами. При нём была образована временная техническая комиссия на время сооружения Санкт-Петербург-Московской железной дороги.

При проектировании железной дороги существовало два предложения, одно – вести дорогу прямо на Москву, другое – с заходом в Новгород. Николай I (рис. 8) наложил следующую резолюцию: «Дорогу устроить по прямому направлению, ибо не нахожу ни одной уважительной причины вести её на Новгород, который не лишится тех выгод, коими пользуется».

Проектируемая линия была разделена на два строительных участка: Санкт-Петербург–Бологое (Северная дирекция) во главе с П. П. Мельниковым и Бологое–Москва (Южная дирекция) во главе с Н. О. Крафтом (рис. 9).

Для проведения изыскательских работ образовали семь специальных партий, укомп-



Рис. 9. Схема Санкт-Петербурго-Московской железной дороги.

лектованных выпускниками и студентами Института Корпуса инженеров путей сообщения, которые возглавили Н. И. Липин (рис. 10), И. Г. Веригу, П. П. Зуев, В. И. Кирхнер, А. И. Штукенберг (рис. 11) и другие. В одной из групп работал инженер путей сообщения Д. И. Журавский (рис. 12), ставший впоследствии крупнейшим учёным страны в области мостостроения.

Основные полевые работы были закончены весной 1843 г. Общая протяжённость исследованных вариантов трассы составила 6000 км, или около 10 км на 1 км пути.

Опыта проектирования и строительства железных дорог в 1840-х годах не было. Поэтому в 1842 г. для консультации по вопросам строительства Санкт-Петербурго-Московской дороги пригласили американского майора Дж. Уистлера (рис. 13). Его советы были высокопрофессиональны и очень полезны для строителей. В 1847 г. он был награждён орденом Святой Анны II степени.

П. П. Мельникову принадлежит разработка технических условий и норм проектирования и строительства магистрали Санкт-Петербург–Москва. Он предложил колею шириной 5 футов (1524 мм), что на 89 мм шире стейфенсоновской колеи. Выбор колеи более широкой, чем 4 фута 8,5 дюймов, обеспечивал более удобное размещение механизма паровоза, увеличение объёма котла, массы груза в вагонах, лучшую устойчивость подвижного состава. Предложенная П. П. Мельниковым



Рис. 10. Н. И. Липин.



Рис. 11. А. И. Штукенберг.



Рис. 12. Д. И. Журавский.





Рис. 13. Дж. Уистлер (1800–1849).

ширина колеи была принята на всей сети железных дорог России.

П. П. Мельников придумал и ввёл многие технические и железнодорожные термины, которые применяются и поныне. Например, станции I, II, III и IV классов, которые на магистрали размещались соответственно на расстоянии примерно 160, 80, 40 и 20 км.

Вопросы организации строительства железных дорог в 1840-х годах представляли значительные сложности из-за отсутствия опыта проектирования и строительства столь крупных линий, какой являлась магистраль Санкт-Петербург–Москва. Тем большее уважение вызывают оптимальные решения, найденные первопроходцами.

Строительство дороги началось летом 1843 г. Чтобы максимально приблизить руководство управлений к строящимся объектам, Северное управление размещалось на станции Чудово (в 111 верстах от Петербурга) (рис. 14), Южное – сначала в Вышнем Волочке (важный центр системы каналов, ранее соединявших Волгу с Невой) (рис. 15), а затем в Твери (предполагалась перевалка грузов с реки Волга) (рис. 16).

На Санкт-Петербург–Московской железной дороге использовались безостряковые стрелки с двойными подвижными рельсами. Они были гораздо устойчивее в горизонтальной плоскости и обеспечивали более плавный вход на ответвление по сравнению со стрелками с одиночными передвижными рельсами. Однако наличие разрыва колеи в начале стрелки могло привести к сходу подвижного состава, идущего в пошёрстном направлении. Вскоре появились стрелки с двумя подвижными прямыми остряками из обычных рельсов, которые явились прототипом современных стрелок.

В качестве подстрелочного основания использовались деревянные брусья. Они обладали нужной упругостью, значительной прочностью, были просты по форме, удобны в эксплуатации и изготовлении.

Организационно-технологический план строительства предусматривал:

- выбор опорных баз в зонах примыкания трассы к водным путям сообщения, по которым осуществлялось снабжение материалами и оборудованием;



Рис. 14. Железнодорожный мост у станции Чудово.



Рис. 15. Вышний Волочек.



Рис. 16. Станция Тверь.

- многолучевой способ строительных работ, когда они ведутся из одного пункта по нескольким направлениям одновременно;

- поэтапный ввод участков дороги в эксплуатацию, что ускоряет и удешевляет строительство.

Ускорению строительства способствовало внедрение элементов механизации работ. Например, при разработке громадной выемки между станциями Валдай и Березайка были применены землеройные машины, сходные по конструкции с экскаваторами. При забивке свай мостовых переходов применялись паровые копры. Для перевозки грунта использовались специально сконструированные землевозные вагоны и путь для них.

Сложные проблемы возникли при устройстве 19 путепроводов, 69 труб и 184 мостов, в том числе через такие крупные реки, как Волга, Волхов, Тверца, Мста. Руководил про-

ектированием мостов Д. И. Журавский. Одной из особенностей мостовых переходов была значительная высота опор, что вызвало необходимость применять большие пролёты вместо малых во избежание удорожания стоимости строительства. Кроме того, часто поставленные опоры при небольших пролётах препятствовали судоходству и затрудняли пропуск льда.

Д. И. Журавский отказался от слепого копирования известных в то время большепролётных конструкций деревянных мостов. Справедливо полагая, что арочная система при большой высоте мостов потребует устройства массивных и дорогих опор, он остановил своё внимание на более лёгких балочных пролётных строениях с деревянными фермами, предложенных американским инженером Гау. Однако теории расчёта таких конструкций не было, что вызывало серьёз-



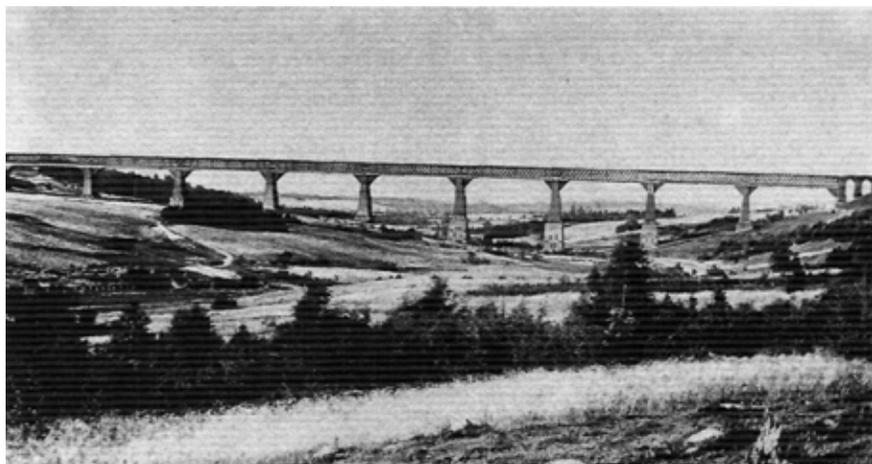


Рис. 17. Веребынский виадук.

ные сомнения в правильности подхода к назначению размеров сечений отдельных элементов.

В 1845 г. Д. И. Журавский создал теорию расчёта решетчатых ферм, дав метод определения усилий в отдельных элементах. В частности, он нашёл, что сечения вертикальных металлических тяжей назначались в фермах Гау необоснованно: тяжи у опор нагружены сильнее и должны быть более мощными. По конструктивным соображениям предусматривалось постоянное сечение поясов ферм по всей длине, в то время как в однопролётных конструкциях сечение поясов могло быть использовано полностью только в середине пролёта. Для мостов больших пролётов учёный предложил балочную неразрезную систему, обеспечивающую рациональное использование материала поясов.

На основе проведённых исследований Д. И. Журавский дал рекомендации по расчёту ферм Гау и разработал проекты деревянных мостов через все крупные водотоки на трассе железной дороги Санкт-Петербург–Москва. Было разработано пять групп пролётных строений длиной от 16,4 до 60,8 м. Проектирование конструкций сопровождалось всесторонними исследованиями их работы под нагрузкой и свойств применяемых строительных материалов.

Пролётные строения всех мостов имели деревянные многорешётчатые неразрезные фермы, образуемые наложением друг на друга нескольких простых треугольных решёток, что существенно улучшало работу сжатых элементов.

Уникальным мостовым переходом стал Веребынский виадук (рис. 17). По отзывам

современников, этот виадук считался одним из лучших сооружений такого типа не только в России, но в Европе и Америке.

Мстинский мост имел девять пролётов по 61 м. Его опоры представляли собой пирамидальные башенные деревянные конструкции на каменном фундаменте, обшитые железом.

Особенностью моста через Волхов, имевшего пять пролётов по 51 м, был десятиметровый разводной судоходный пролёт раскрывающейся системы. Автор проекта – инженер В. И. Граве для обеспечения уравновешенности системы при любом угле раскрытия предложил противовес оригинальной конструкции.

Мосты через Волгу (рис. 18) и Тверцу имели по три пролёта длиной 59,6 м. Существенно отличались от других мосты через Обводный канал и р. Славянку. Растянутые пояса ферм Гау, применённые в пролётных строениях этих мостов, были металлическими (железными).

Александровский механический завод Санкт-Петербурго-Московской железной дороги стал первенцем железнодорожного машиностроения. Пассажирские локомотивы типа 2–2–0, выпускавшиеся заводом, позднее получили обозначение «В». Внутренний эксцентриковый парораспределительный механизм приводил в движение двойные (расширительные) золотники, позволявшие реверсировать машину и изменять степень наполнения цилиндров паром. В трубчатом котле использовалась конусная тяга, что позволило регулировать процесс горения топлива в зависимости от интенсивности работы паровой машины. Давление в котле возросло до 8 атм, мощность паровоза – до 130 л.с. Он вёз

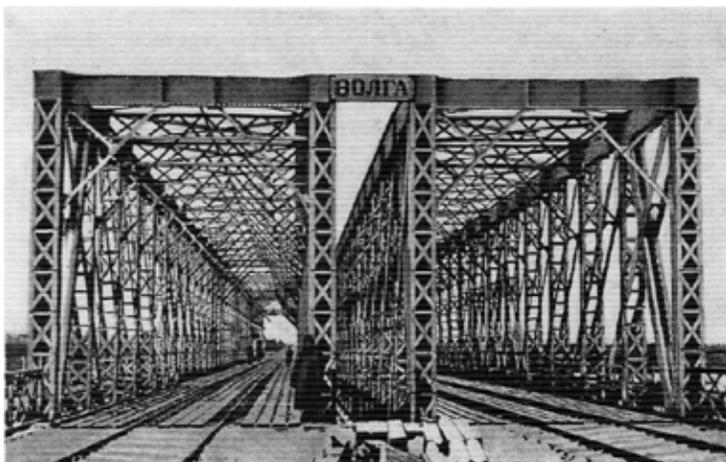


Рис. 18. Въезд на железнодорожный мост через Волгу.

поезда из шести вагонов со скоростью 40 км/ч. Кроме этого, строились паровозы типа 1–2–0 и 1–2–1.

Выпущавшиеся Александровским заводом товарные паровозы типа 0–3–0 (рис. 19), получившие обозначение «Д», по многим конструктивным решениям были аналогичны пассажирским. Они имели мощность около 140 л.с. и водили 22-вагонные составы со скоростью 15 км/ч.

Первые товарные вагоны (рис. 20) отечественного производства появились на Санкт-Петербурго-Московской железной дороге. Их начали строить на Александровском заводе в 1846 г. Вагоны были четырёхосными, с деревянными кузовами, центральной сцепкой, без боковых буферов, с тормозным устройством с ручным приводом. Грузоподъёмность крытого вагона при tare 7,8 т составляла 8,2 т. Для насыпных и длинномерных грузов строились также четырёхосные платформы с весом тары 6 т и грузоподъёмностью 10 т. Их осевая нагрузка составляла 4 т вместо 10 т, на которую был рассчитан рельсовый путь.

В 1845 г. академик Б. С. Якоби (рис. 21) получил задание на устройство телеграфной связи вдоль строящейся железной дороги Санкт-Петербург–Москва. До завершения этого проекта немецкая фирма Siemens, приглашённая для участия в организации такой связи, проложила кабельную линию, которая состояла из двух медных проводов, изолированных гуттаперчей и помещённых в деревянный жёлоб, залитый изолирующей массой. Линию прокладывали по обочине пути у концов шпал. Её начали эксплуатировать в 1852 г. с применением телеграфных аппаратов Си-

менса, а затем Морзе, так как последние обеспечивали более надёжную связь.

Однако конструкция проложенного кабеля оказалась ненадёжной, поэтому в 1854 г. по предложению Б. С. Якоби её решили заменить воздушной линией, которая имела три стальных провода диаметром 5 мм, подвешенных на столбах посредством железных крюков с изоляторами. На версту устанавливали 16 столбов. В дальнейшем на всех строящихся дорогах также начали применять воздушные линии связи.

Все проекты зданий Санкт-Петербурго-Московской железной дороги пронизаны идеями любимца царя, архитектора К. А. Тона (рис. 22). Тон решил всё пространство дороги в 644 км как единый ансамбль в виде гигантской площади. Николаевский вокзал (рис. 23) строился в 1844–1851 годах по проекту Константина Тона, при участии Рудольфа Желязевича. Сооружение сочетает формы итальянского ренессанса и древнерусские мотивы. Новшеством того времени было решение с металлическим покрытием над концевыми участками железнодорожных путей и примыкающими пассажирскими платформами. Если само пассажирское здание вокзала спроектировано Тоном в традиционных формах и конструкциях, то дебаркадер не имел аналогов в архитектуре прошлого. Треугольные фермы покрытия перрона создавали совершенно новый образ транспортного интерьера.

Здание вокзала, круглое в плане, расположено по длине вдоль всей Площади Восстания. Константин Андреевич использовал мотивы ратушей западноевропейских городов, башня с часами указывает направление



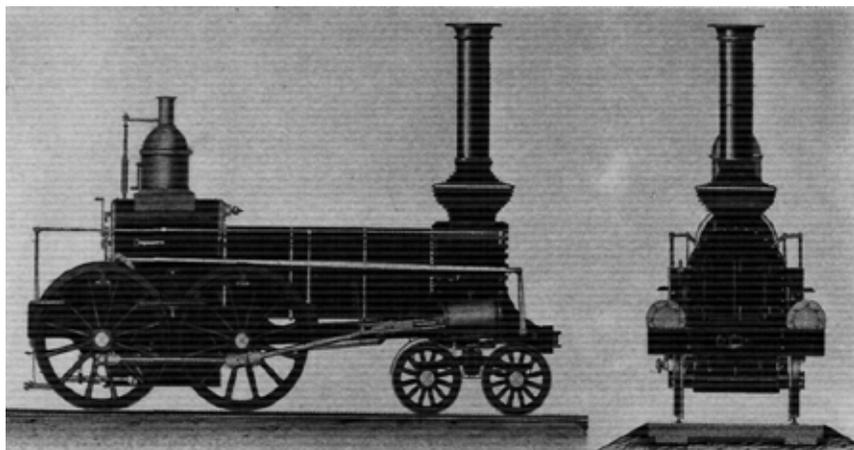


Рис. 19. Первый отечественный товарный паровоз.

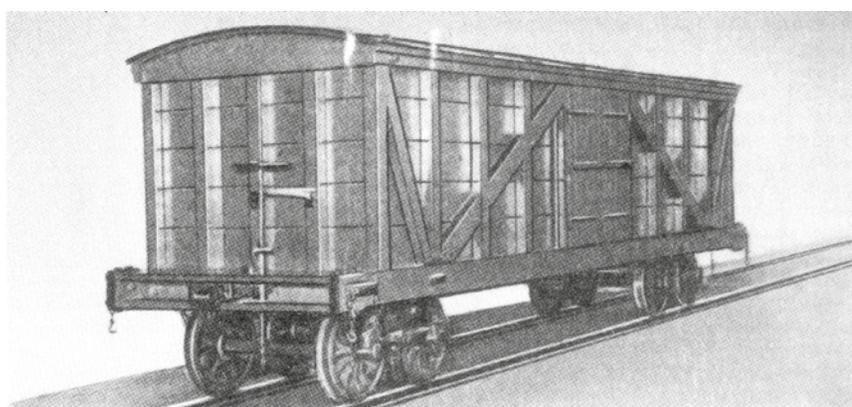


Рис. 20. Первый крытый вагон Санкт-Петербурго-Московской дороги.



Рис. 21. Б. С. Якоби.

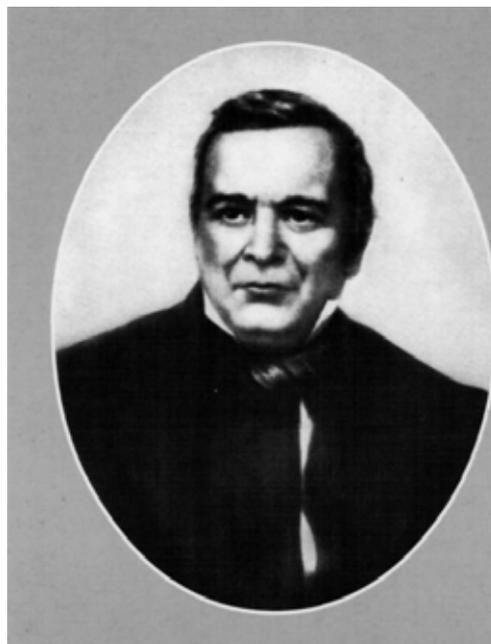


Рис. 22. Архитектор К. А. Тон.



Рис. 23. Николаевский вокзал в Санкт-Петербурге.

главного входа. Активное участие в проектировании новой привокзальной (Знаменской) площади принимал сам император.

Первым начальником пассажирской станции и вокзала Санкт-Петербурго-Московской железной дороги был назначен Н. И. Миклуха. (рис. 24). Его квартира находилась в самом здании вокзала, кроме того, здесь располагались конторы служащих, управление железной дороги, императорские помещения.

Ленинградский вокзал (до 1855 г. – Петербургский, в 1855–1923 годах – Николаевский, в 1923–1937 годах – Октябрьский) (рис. 25) – старейший из девяти вокзалов Москвы. Здание вокзала построено в 1844–1851 годах по проекту Константина Тона архитектором Желязевичем. Для вокзала строительная комиссия выбрала Каланчевский пустырь на северо-восточной окраине Москвы.

Возведение Петербургского вокзала в Москве началось в 1844 г. под руководством управляющего путями сообщения Петра Клейнмихеля, у которого с Тоном случались разногласия. Так, Клейнмихель требовал использования кирпичной кладки с тонкими швами, что казалось ему более эстетичным. Архитектор отказался исполнять это указание, опасаясь нарушения монолитности стен и возникновения трещин. В результате конфликтов в 1847 г. работы перепоручили Рудольфу Желязевичу, который отличался большей уступчивостью.

Строительство было окончено в 1851 г. Здание являлось стилистической парой вокзала в Санкт-Петербурге, но отличалось меньшими размерами. Центральную часть



Рис. 24. И. Н. Миклуха.

здания занимал просторный двусветный вестибюль. Помещение вокзала украшал дубовый паркет и мраморные шведские печи. Императорские залы имели массивные дубовые двери, их оборудовали зеркальными шкапами. Второй этаж главного корпуса вокзала отвели под квартиры служащих.

По мере выполнения работ дорога открывалась участками. В 1847 г. было открыто постоянное движение между Санкт-Петербургом и Колпино. В 1848 г. служебное движение производилось до станции Чудово и между Тверью и Вышним Волочком. Открытие всей дороги до Москвы состоялось 1 ноября 1851 г.





Рис. 25. Николаевский вокзал в Москве.

После завершения строительства магистрали представляет интерес начальный период её эксплуатации. При отсутствии достаточного опыта эксплуатации железнодорожного транспорта считалось, что обеспечить безопасность и регулярность движения наилучшим образом могут только люди, привыкшие к чёткому армейскому порядку.

Поэтому приказом Главного управления путей сообщения и публичных зданий от 23 сентября 1851 г. № 180 для эксплуатации дороги были сформированы 14 отдельных военно-рабочих, 2 кондукторские и 1 телеграфическая роты. Они комплектовались военным ведомством из числа унтер-офицеров и рядовых действительной военной службы. В военно-рабочих ротах насчитывалось 3500 человек. В одну из кондукторских рот входили машинисты паровозов, их помощники и кочегары.

Всего при строительстве магистрали Санкт-Петербург–Москва было произведено около 46 млн кубических метров земляных работ, построено два больших вокзала в обеих столицах, 34 станции, 190 мостов. Строительство этой железной дороги обошлось в 67 млн рублей (треть годового бюджета Российской империи в 1842 г.). В середине XIX века эта дорога была самой технически совершенной и самой протяжённой (644 км) двухпутной железной дорогой в мире.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. История организации и управления железнодорожным транспортом России / Под ред. А. А. Тимошина. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2009. – 466 с. [Электронный ресурс]: <https://mirlib.ru/knigi/tehnika/489566-istorija-organizacii-i-upravlenija-zheleznodorozhnym-transportom-rossii-1809-2009.html>. Доступ 17.09.2019.
2. История железнодорожного транспорта России. – Т. 1: 1836–1917 гг. – СПб., 1994. – 336 с.
3. Левин Д. Ю. Развитие сети железных дорог России в XIX веке. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. – 398 с. [Электронный ресурс]: [https://www.studmed.ru/levin-d-yu-razvitie-seti-zheleznih-dorog-rossii-v-xix-veke\\_b66b323a7c9.html](https://www.studmed.ru/levin-d-yu-razvitie-seti-zheleznih-dorog-rossii-v-xix-veke_b66b323a7c9.html). Доступ 17.09.2019.
4. Постройка и эксплуатация Николаевской железной дороги: Краткий исторический очерк. – СПб., 1901. – 175 с.
5. Авдеев О. Т. ИУП Альбом. Петербург-Московская (Николаевская) железная дорога. – ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2005. – 120 с. [Электронный ресурс]: <https://mirlib.ru/knigi/history/448872-peterburg-moskovskaja-nikolaevskaja-zheleznaja-doroga.html>. Доступ 17.09.2019.
6. Российские железные дороги: Справочник. – М.: Граница, 2007. – 316 с.
7. Воронин М. И. К истории изысканий и проектирования Петербург-Московской железной дороги / Сб. трудов ЛИИЖТа. – М., 1952. – Вып. 143. – С. 2–83.
8. Каменский А. С. О сравнительной ценности Петербург-Московской железной дороги: Рукопись. – 1851. – НТБ ПГУПС.
9. Уродков С. А. Петербург-Московская железная дорога: История строительства. – Л.: ЛГУ, 1951. – 105 с.

#### Информация об авторе:

**Левин Дмитрий Юрьевич** – доктор технических наук, АНО «Международная ассоциация учёных, преподавателей и специалистов», Москва, Россия, [levindu@yandex.ru](mailto:levindu@yandex.ru).

Статья поступила в редакцию 17.09.2019, одобрена после рецензирования 16.10.2020, принята к публикации 23.04.2021.



# Величайший пассажирский паровоз в мире



## Пресс-архив

Заметка из журнала «Железнодорожное дело» познакомила в 1910 году читателей с самым мощным паровозом своего времени, предназначенным для пассажирского движения в США

*Ключевые слова:* железная дорога, паровоз, пассажирское движение, история.

**В** № 24 «Железнодорожного дела» 1909 г. я дал описание величайших товарных паровозов, построенных заводом Балдуина в Филадельфии для Southern Pacific R. R.; теперь прибавлю, что они оказались на практике чрезвычайно работоспособными и целесообразными, что в настоящее время их уже работает до десятка и что решено снабдить ими исключительно всю горную дивизию этой дороги.

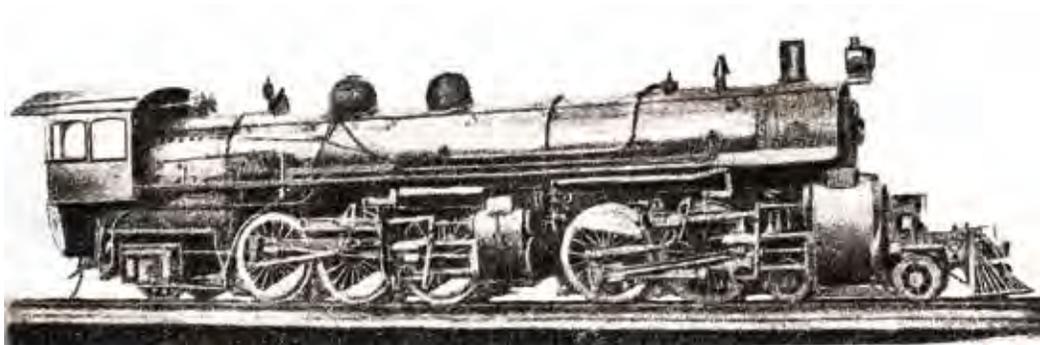
Само собой разумеется, что горные перевалы воздействуют одинаково как на товарное, так и на пассажирское движение, и это последнее особенно ощутительно в тех случаях, когда разные линии конкурируют между собою при долгих переездах укорочением потребного для них времени. За последний

год именно такая конкуренция возобновилась с большой энергией между целой полудюжиной трансконтинентальных линий Сев. Америки, оперирующих между Атлантическим и Тихим океанами; время между Нью-Йорком и Чикаго укорочено с 18 до 15 часов, время между Чикаго и Лос-Анжелесом или Сан-Франциско с 72 до 60 часов, и все дороги стремятся сократить время переезда до трёх суток, т.е. 3250 миль или 4875 вёрст в – 72 часа, включая все остановки и пересадку в Чикаго. Ближе всех других своих конкурентов к достижению этого стоит Atchison, Торека & Santa Fe R. R. Co., располагающая свыше 10000 миль путей и собственной непрерывной линией от Чикаго до Лос-Анжелеса и Сан-Франциско, но, хотя за последние три

*Для цитирования:* Величайший пассажирский паровоз в мире // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 2 (93). С. 137–138. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-19>.

*Благодарность.* Редакция выражает признательность сотрудникам библиотеки Российского университета транспорта за помощь в подготовке материала.

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



года она и построила 400 миль нового пути в обход самого высокого из своих горных перевалов в главном хребте Скалистых гор в штате Колорадо, ей всё-таки мешали три другие перевала – в Нью-Мексико, Аризоне и Калифорнии, особенно в этой последней, через хребет Сьерра Мадре. Чтобы преодолеть его и выиграть 2–3 часа, компанией этой был построен на том же заводе Бальдуина и только что прибыл сюда новый пассажирский паровоз-монстр, весящий с тендером те же триста тонн, что и вышеупомянутые товарные паровозы Southern Pacific R. R. С°. Сам паровоз весит 376450 англ. фунтов; остальное приходится на тендер, поднимающий 12000 галлонов воды и 4000 галлонов нефти, так что паровоз может делать с тяжёлым поездом 100 англ. миль без остановки. Длина паровоза и тендера 105 футов; сила тяги 53000 тонн. Он составного типа Маллета, с пятью парами движущих колёс в 73 дюйма в диаметре, соединённых в гнёзда в 3 и 2 пары, причём заднее гнездо в три пары работает при посредстве цилиндров высокого давления, а переднее в две пары – цилиндрами низкого давления. Паровоз этот рассчитан на большую скорость и на крутых сравнительно подъёмах, при силе тяги на 50 % выше самых сильных пассажирских паровозов, где-либо в настоящее время состоящих в употреблении. В остальном сущность его конструкции та же, что и у описанных мной в № 24 товарных паровозах.

В деле современной американской конструкции подвижного состава как паровозов, так и пассажирских и товарных вагонов, следует констатировать решительный переход к более крупным и тяжёлым типам. Все главные линии совершенно оставили дерево и перешли к стали. Предубеждение против пассажирских вагонов из стали из-за якобы производимого ими в движении шума совер-

шенно рассеяно усовершенствованиями в их конструкции, а их сравнительная безопасность, даже при самых тяжёлых крушениях, никогда не подлежала сомнению. Усиление же товарного движения, опять начавшееся быстрыми скачками после заминки в промышленности и торговле, вызванной биржевой паникой осени 1907 года, обещает снова, и в очень скором времени, дойти до предела современной железнодорожной работоспособности, и увеличение грузоподъёма товарных вагонов является одним из главных средств к её поднятию. Стальные товарные вагоны поднимают 100000 англ. фунтов, почти вдвое против самых крупных деревянных и хотя стоят вдвое дороже, но гораздо более долговечны и безопасны при крушениях и пожарах.

Следует отметить и замечательно быстрое распространение газолиновых и электрических моторов на паровых железных дорогах. Быстрое развитие электрических трамваев во всех густонаселённых местностях и между крупными городами – как, например, между Бостоном и Нью-Йорком и между Чикаго и Сан-Луисом – отозвалось так сильно на пассажирском движении паровозных дорог, что они нашлись вынужденными учредить моторное движение на всех своих подгородных линиях. Всё ещё идёт свирепая борьба между многочисленными типами моторов для этих дорог, но и теперь уже два–три из них установили своё превосходство над другими и входят во всеобщее употребление. Я надеюсь в близком будущем дать читателям «Железнодорожного Дела» подробное их описание, если окажусь в состоянии справиться с русской номенклатурой вопроса.

**П. А. Тверской**  
г. Лос-Анджелес, Калифорния  
(Железнодорожное дело. – 1910. –  
№ 17–18. – С. 104–105) ●



### СТАТЬЯ-РЕЦЕНЗИЯ 140

*Техническая диагностика: синтез самопроверяемых схем встроеного контроля.*



## КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

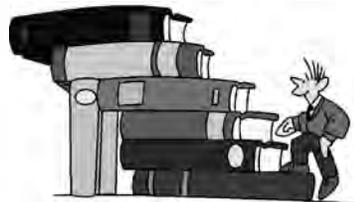


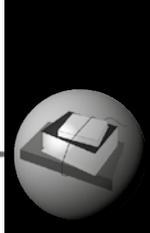
### АВТОРЕФЕРАТЫ ДИССЕРТАЦИЙ 144

- *Экономическая эффективность развития транспортной инфраструктуры с учётом объёмов и неравномерности перевозок.*
- *Прочностной расчёт жёстких аэродромных покрытий.*
- *Прогностические регуляторы для управления установками распределённой генерации в системах электроснабжения железных дорог.*
- *Управление ресурсообеспечением инновационного развития транспортной компании.*
- *RFID-навигация для управления движением поездов метрополитена.*
- *Диагностирование асинхронных тяговых электродвигателей локомотивов на железных дорогах Республики Узбекистан.*

### НОВЫЕ КНИГИ 148

*Новые книги и учебники российских издательств по транспортной тематике.*





## Обзор книги «Труды по теории синтеза самопроверяемых схем встроенного контроля на основе двоичных избыточных кодов»



Анжела МАТРОСОВА

*Анжела Юрьевна Матросова*

*Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
 Томск, Россия.*

*✉ [mau11@yandex.ru](mailto:mau11@yandex.ru).*

**Труды по теории синтеза самопроверяемых схем встроенного контроля на основе двоичных избыточных кодов: Т. 1. – Москва: Издательство «Наука», 2020. – 611 с. ISBN 978-5-02-040758-9.**

**Труды по теории синтеза самопроверяемых схем встроенного контроля на основе двоичных избыточных кодов: Т. 2. – Москва: Издательство «Наука», 2021. – 527 с. ISBN 978-5-02-040757-2.**

В первый том книги вошли работы, посвящённые трём основным направлениям исследований в области синтеза самопроверяемых дискретных систем: изучению особенностей классических кодов с суммированием (кодов Бергера), модульных кодов с суммированием, а также их модификаций, предложенных авторами статей; изучению особенностей кодов, для которых контрольные разряды получают с использованием свёрток по модулю  $M = 2$  части информационных разрядов (полиномиальных кодов и классических кодов Хэмминга); исследованию метода логического дополнения для организации самопроверяемых дискретных систем на основе избыточных двоичных кодов. Приводятся материалы по подробным характеристикам обнаружения ошибок в информационных разрядах избыточных двоичных кодов при условии безошибочности контрольных разрядов, описания

способов построения ранее неизвестных модифицированных кодов с суммированием и особенности методов синтеза самопроверяемых дискретных систем на основе двоичных избыточных кодов.

Второй том книги включает в себя работы в области построения двоичных кодов с суммированием с взвешенными разрядами и переходами между разрядами, занимающими соседние позиции в информационных векторах кодовых слов, а также результаты исследования их характеристик и методов синтеза кодирующего оборудования. Рассмотрены вопросы применения свойств кодов при организации самопроверяемых дискретных систем. Читатель найдёт на страницах данного тома материалы по подробным характеристикам обнаружения ошибок в информационных разрядах взвешенных кодов с суммированием при условии безошибочности контрольных разрядов, описания способов построения ранее неизвестных взвешенных кодов с суммированием и особенности методов синтеза самопроверяемых дискретных систем на их основе.

Книга может быть полезной разработчикам, исследователям и инженерам, работающим в сфере технической диагностики дискретных систем и синтеза систем с обнаружением неисправностей, а также студентам, изучающим информатику, вычислительную технику и автоматизацию.

**Ключевые слова:** технические средства автоматизации, синтез самопроверяемых схем, встроенный контроль, двоичные избыточные коды, самопроверяемая дискретная система.

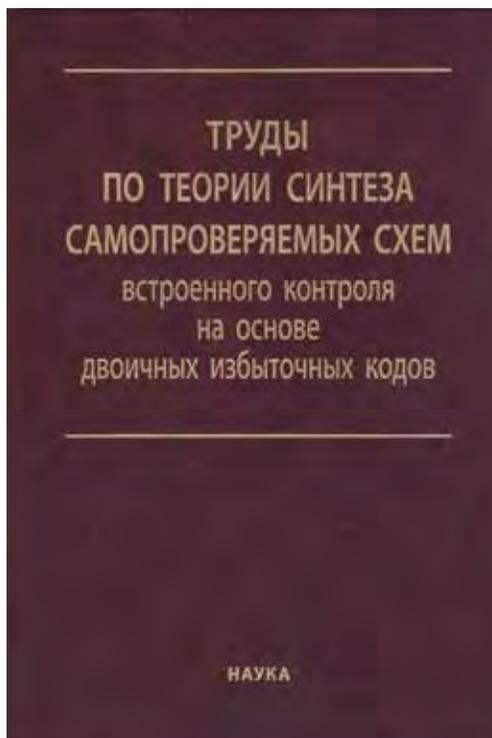
**Для цитирования:** Матросова А. Ю. Обзор книги «Труды по теории синтеза самопроверяемых схем встроенного контроля на основе двоичных избыточных кодов» // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 2 (93). С. 140–143. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-20>.

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

**В** 2021 году в издательстве «Наука» вышло в свет двухтомное издание «Труды по теории синтеза самопроверяемых схем встроенного контроля на основе двоичных избыточных кодов», куда вошли основные работы коллектива петербургской научной школы по технической диагностике под руководством профессоров Валерия Владимировича и Владимира Владимировича Сапожниковых, опубликованные в период с 2009 по 2020 гг. По нашему мнению, опубликованный труд заслуживает особого внимания научного сообщества в силу того, что фактически определяет основные этапы развития кодовых методов синтеза средств обнаружения ошибок, вызванных неисправностями различной физической природы, в технических системах.

Прежде всего, необходимо напомнить читателю, что при разработке и проектировании технических средств автоматизации как в промышленности, так и на транспорте особое внимание уделяют вопросам не только обеспечения правильности исполнения закладываемых алгоритмов, но и защиты от сбоев, отказов и их проявлений в виде ошибок в результатах вычислений. Это требует от разработчика заложения свойств контролепригодности, самоконтроля, самопроверяемости, отказоустойчивости, безопасного поведения при отказах и других на этапе создания самого прототипа будущего устройства. Именно от этих свойств зависят в дальнейшем и надёжностные характеристики устройства, и нюансы его эксплуатации. В конечном итоге, все особенности жизненного цикла технических средств автоматизации определяются ещё на этапе его разработки, когда возможно предусмотреть наиболее рациональную архитектуру устройства, состав и необходимость технических средств диагностирования, оценить риски возникновения сбоев и устойчивых отказов.

В транспортной отрасли часто применяются информационно-управляющие системы критического назначения, отказ в которых не должен приводить к возникновению опасного события (потенциально влияющего на развитие условий для возникновения аварий и катастроф или приводящего к ним). Именно с этой целью выработаны специальные требования к информационно-управляющим системам критического назначения, которые в чём-то схожи, а в чём-то



отличаются в различных отраслях транспорта. К примеру, в железнодорожной сфере при разработке микроэлектронных и микропроцессорных систем управления движением поездов придерживаются следующей концепции [1]: одиночные дефекты аппаратных и программных средств не должны приводить к опасным отказам систем и должны обнаруживаться при рабочих или тестовых воздействиях не позднее, чем в системе возникает второй дефект. Отсюда следует, что важнейшими при построении современных систем управления являются не только принципы синтеза систем с контролепригодными структурами, но и принципы реализации диагностического обеспечения.

Диагностическое обеспечение технических систем позволяет решать задачи тестового и рабочего (функционального) диагностирования [2; 3]. Тестовое диагностирование подразумевает отключение объекта от выполнения им своих основных функций с целью подачи на его входы специальных проверяющих воздействий. Рабочее диагностирование связано с тем, что рабочие комбинации одновременно являются и тестовыми для объекта диагностирования. Сама же процедура диагностирования не требует



отключения объекта диагностирования от управляемых устройств. В системах критического применения используют оба этих вида диагностирования наравне. При этом, естественно, требуется внесение и аппаратной и программной избыточности (резервирование и диверситет), использование информационного и временного резервирования. Одним из важнейших подходов к реализации процедур рабочего диагностирования является использование самопроверяемых схем встраиваемого/встроенного контроля (СВК). Именно вопросам синтеза СВК для устройств автоматики и вычислительной техники посвящено вышедшее издание.

Книга, представленная в виде двух многостраничных томов, содержит основные научные работы в области теории синтеза СВК на основе помехозащищённых и помехоустойчивых избыточных кодов. Книга включает в себя четыре основных раздела. Первые три образуют первый том монографии и четвёртый – второй том. Особенностью книги и исследований авторов является то, что ими рассматриваются не просто структуры СВК, реализуемые на конкретной элементной базе, а общие особенности применения избыточного кодирования для решения задач технической диагностики. Это делает описанные результаты универсальными и применимыми не только для современной элементной базы, но и для разрабатываемой, что немало важно в условиях постоянного совершенствования компьютерных и информационных технологий [4].

Первый раздел посвящён синтезу СВК на основе кодов с суммированием единичных разрядов и описанию их свойств. Охвачены особенности классических кодов с суммированием (кодов Бергера) и их модификаций, получаемых путём подсчётов веса информационного вектора в кольце вычетов по заранее устанавливаемому модулю, разделения информационных разрядов на подмножества с контролем веса каждого из них, подсчёта специальных поправочных коэффициентов при построении кодов. Отдельные материалы посвящены применению свойств кодов с суммированием при синтезе СВК.

Второй раздел посвящён изучению характеристик широко известных полиномиальных кодов и кодов Хэмминга в СВК. Применительно к поставленным задачам диагно-

стики рассматриваются обнаруживающие способности данных кодов в информационных разрядах. Показаны основные особенности класса систематических кодов, связанные с тем, что получаемые коды за счёт применения свёрток по модулю два при синтезе их кодеров, имеют немонотонные функции разрядов, а значит и их использование при синтезе СВК должно учитывать эти обстоятельства.

Третий раздел охватывает результаты, полученные авторами в области развития метода логического дополнения для синтеза СВК. Здесь все методы учитывают использование равновесных кодов при организации СВК с преобразованием в последних значений рабочих функций объектов диагностирования (а не с конкатенацией (дополнением), как в случае использования разделимых кодов). Метод логического дополнения позволяет синтезировать полностью самопроверяемые СВК даже в том случае, когда этого невозможно добиться классическими методами (включая дублирование с последующим контролем одноимённых выходов различных устройств).

Четвёртый, самый большой, раздел освещает особенности применения взвешенных кодов с суммированием при синтезе СВК. Авторами рассматриваются разнообразные способы построения кодов с суммированием, между информационными разрядами которых установлено неравноправие. Оно достигается путём приписывания разрядам (или сразу же группе разрядов) весовых коэффициентов из натурального ряда чисел. Такие коды разделены авторами на два класса – кодов с суммированием весовых коэффициентов разрядов и переходов между разрядами (фактически весовых коэффициентов групп разрядов). Описаны коды как с произвольными весовыми коэффициентами, так и коды, при построении которых использовано взвешивание одного и нескольких разрядов, применены специальные последовательности весовых коэффициентов. Приводятся методы синтеза СВК, использующие свойства взвешенных кодов с суммированием.

Авторы показывают, что можно эффективно применять свойства обнаружения ошибок различных кратностей и видов при синтезе СВК. Ошибки классифицированы по числу искажений нулевых и единичных

разрядов в информационных векторах на монотонные (однонаправленные) и немонотонные (разнонаправленные), а последние, в свою очередь, на симметричные (с одинаковым числом искажаемых нулевых и единичных разрядов) и асимметричные (с неодинаковым). Широко известен тот факт, что современные средства автоматизированного проектирования схем автоматики и вычислительной техники учитывают только возможности обнаружения рядом кодов монотонных ошибок. Это используется и при выборе контролепригодных структур и методов контроля ошибок в СВК на выходах устройств. Однако авторами показано, что многие избыточные коды обладают не только возможностями обнаружения монотонных ошибок, но и других видов ошибок, в том числе, до определённой фиксированной их кратности, что также можно применять на практике. В отдельных статьях в книге приведены алгоритмы синтеза полностью самопроверяемых СВК с учётом таких особенностей избыточных кодов. Установленные особенности целесообразно учитывать при развитии средств автоматизированного проектирования устройств, что позволит снизить их структурную (а при реализации на программном уровне – программную) избыточность.

Следует отметить, что авторами разрабатываются кодовые методы синтеза СВК, затронутые в известных изданиях советского и постсоветского периода развития технической диагностики [5–7], а также в зарубежных изданиях [8–10]. При этом результаты, представленные в настоящем двухтомнике, связаны с достаточно глубоким уровнем исследования, а не поверхностным, как это было ранее, до публикации работ соавторов книги. Соответственно, и представленная теория позволяет проектировщику иметь широкое поле выбора варианта кодирования при синтезе СВК.

К сожалению, на постсоветском пространстве осталось не так много учёных,

занимающихся вопросами синтеза полностью самопроверяемых СВК, а их трудам уделено недостаточное внимание. Однако использование результатов и их развитие позволяет на практике более обоснованно выбирать способ реализации СВК с учётом специфики самого объекта диагностирования, что, в конечном итоге, позволяет не только снижать показатели сложности технической реализации средств диагностирования, но и улучшать экономические показатели.

Книга освещает результаты вне привязки к конкретным устройствам и системам, без выделения каких-либо отраслей промышленности и транспорта и будет интересна широкому кругу специалистов в области автоматики и вычислительной техники, занимающимся разработкой и совершенствованием компьютерных и информационных систем.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сапожников В. В., Сапожников Вл. В., Ефанов Д. В. Основы теории надёжности и технической диагностики. – СПб.: Издательство «Лань», 2019. – 588 с.
2. Пархоменко П. П., Согомонян Е. С. Основы технической диагностики (оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратные средства). – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 320 с.
3. Матросова А. Ю. Алгоритмические методы синтеза тестов. – Томск: Издательство Томского университета, 1990. – 207 с.
4. Hahanov, V. Cyber Physical Computing for IoT-driven Services. New York: Springer International Publishing AG, 2018, 279 p. DOI: 10.1007/978-3-319-54825-8.
5. Согомонян Е. С., Слабаков Е. В. Самопроверяемые устройства и отказоустойчивые системы. – М.: Радио и связь, 1989, 208 с.
6. Сапожников В. В., Сапожников Вл. В. Самопроверяемые дискретные устройства. – СПб.: Энергоатомиздат, 1992. – 224 с.
7. Микони С. В. Общие диагностические базы знаний вычислительных систем. – СПб.: СПИИРАН, 1992. – 234 с.
8. Gössel, M., Graf, S. Error Detection Circuits. London, McGraw-Hill, 1994, 261 p.
9. Piestrak, S. J. Design of Self-Testing Checkers for Unidirectional Error Detecting Codes. Wrocław, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 1995, 111 p.
10. Göessel, M., Ocheretny, V., Sogomonyan, E., Marienfeld, D. New Methods of Concurrent Checking: 1<sup>st</sup> ed. Dordrecht, Springer Science+Business Media B. V., 2008, 184 p. ●

### Информация об авторе:

**Матросова Анжела Юрьевна** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры компьютерной безопасности Института прикладной математики и компьютерных наук Национального исследовательского Томского государственного университета, Томск, Россия, [tau11@uandex.ru](mailto:tau11@uandex.ru).

Статья поступила в редакцию 02.04.2021, одобрена после рецензирования 23.04.2021, принята к публикации 05.05.2021.



## АВТОРЕФЕРАТЫ ДИССЕРТАЦИЙ

*Текст на английском языке публикуется  
во второй части данного выпуска.*

*The text in English is published in the  
second part of the issue.*

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-21>

**Ледней А. Ю. Разработка методических подходов к оценке экономической эффективности развития транспортной инфраструктуры с учётом объёмов и неравномерности перевозок / Автореф. дис... канд. экон. наук. – М.: РУТ, 2020. – 24 с**

*Целью* диссертационного исследования является разработка усовершенствованного методического инструментария для оценки эффективности развития транспортной инфраструктуры с учётом неравномерности объёмов перевозок.

Проведён экономический анализ использования и развития российской транспортной инфраструктуры, выделены основные проблемные вопросы, требующие решения для обеспечения устойчивого развития экономики страны.

Проанализирована, с учётом отечественного и международного опыта, эволюция методов оценки экономической эффективности развития транспортной инфраструктуры, и обоснованы направления их совершенствования.

Исследована проблема неравномерности перевозок и её влияние на экономическую эффективность проектов и программ развития транспортной инфраструктуры, усовершенствован методический инструментарий для определения сезонной неравномерности загрузки транспортной инфраструктуры.

Выявлено влияние сезонной неравномерности перевозок на экономические показатели использования и развития транспортной инфраструктуры (на примере железных дорог).

Предложена усовершенствованная методика оценки эффективности капитальных вложений в развитие транспортной инфраструктуры, с учётом сезонной неравномерности перевозок и загрузки инфраструктуры.

В ходе выполненного диссертационного исследования поставлена и решена научная задача совершенствования методического инструментария для оценки эффективности развития транспортной инфраструктуры с учётом неравномерности объёмов перевозок.

С использованием усовершенствованного методического инструментария подтверждена рабочая гипотеза исследования о том, что при оценке экономической эффективности проектов развития транспортной инфраструктуры следует учитывать фактор неравномерности перевозок, существенно влияющий на экономические показатели транспортной деятельности.

На основе выполненного исследования в будущем планируется разработка комплексной методики оценки экономической эффективности развития транспортной инфраструктуры с учётом объёмов и неравномерности перевозок, включающей оценку увеличения ценности транспортной инфраструктуры за счёт снижения неравномерности загрузки.

*08.00.05 – Экономика и управление народным хозяйством (экономика, организация и управление предприятиями, отраслями и комплексами – транспорт).*

*Работа выполнена и защищена в Российском университете транспорта.*

**Макарова Е. А. Развитие метода прочностного расчёта жёстких аэродромных покрытий / Автореф. дис... канд. техн. наук. – М.: МАДИ, 2020. – 24 с.**

*Цель* диссертационного исследования заключалась в совершенствовании метода расчёта жёстких покрытий с применением методов оптимизации.

Результаты выполненных исследований позволили сформулировать основные выводы по исследуемой теме.

Предельные состояния расчёта жёстких аэродромных покрытий, представленные в виде неравенств без ограничений, делают задачу неопределённой и приводят к появлению неоптимальных вариантов покрытий.

На основании выполненного исследования установлено, что замена распределённой нагрузки на сосредоточенную силу при определении прогибов возможна без ограничений, а для изгибающих моментов она допустима только для самолётов с колёй и базой тележки шасси, превышающей 0,6 м.

Выявлен недостаток метода расчёта жёстких аэродромных покрытий, заключающийся в существовании ложного решения в области допустимых толщин покрытий. Ложное решение характерно для шестиколёсных опор самолёта с колёй, превышающей базу. Для двух- и четырёхколёсных опор ложные решения не обнаружены.

Выполнена оценка количества возможных оптимальных решений задачи прочностного расчёта аэродромных покрытий.

Установлено, что конструкции жёстких аэродромных покрытий, исследованных гражданских аэропортов России и зарубежных стран, имеют запас прочности с процентом недонапряжения, достигающим 34 %.

Внедрение в практику проектирования предлагаемого метода расчёта жёстких аэродромных покрытий позволит уменьшить требуемое значение толщины слоя покрытия в среднем для однослойного варианта до 4 см, а для двухслойного – до 7 см. При этом снижение стоимости возведения покрытия может достигать 20 %.

Проведённое исследование свидетельствует о том, что особое внимание следует уделить следующим первоочередным задачам: совершенствование методики расчёта асфальтобетонных аэродромных покрытий; совершенствование методики расчёта смешанных аэродромных покрытий; совершенствование методики расчёта железобетон-

ных аэродромных покрытий с учётом новых строительных материалов.

*05.23.11 – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей.*

*Работа выполнена и защищена в Московском автомобильно-дорожном государственном техническом университете (МАДИ).*

**Нгуен Ван Хуан. Применение прогностических регуляторов для управления установками распределённой генерации в системах электропитания железных дорог / Автореф. дис... канд. техн. наук. – Иркутск: ИрГУПС, 2020. – 18 с.**

Технологии децентрализованной выработки электроэнергии на базе установок распределённой генерации (РГ) в полном объёме применимы на железнодорожном транспорте. Цель представленных в диссертации исследований состояла в разработке методов и средств, обеспечивающих улучшение качества процессов управления в системах электропитания железных дорог (СЭЖД), оснащённых установками распределённой генерации.

Выполнен структурно-параметрический синтез систем управления установками распределённой (собственной) генерации железнодорожного транспорта, реализованных на базе автоматических регуляторов возбуждения (АРВ) и скорости вращения (АРС), использующих прогностические алгоритмы.

Разработан метод управления частотой установок РГ, основанный на применении автопрогностических (самонастраивающихся) регуляторов скорости и применимый при реализации интеллектуальных электрических сетей (Smart Grid).

Предложена методика определения постоянных времени прогнозирующих звеньев для автоматических регуляторов возбуждения и скорости синхронных генераторов.

Разработана методика настройки цифровых автоматических регуляторов РГ с использованием прогностического управления установками распределённой генерации с накопителями энергии, обеспечивающая снижение провалов напряжений; на основе компьютерных исследований показано, что совместное применение прогностических алгоритмов и координации настроек регуляторов позволяет получить дополнительный эффект при управлении скоростью вращения ротора и напряжением синхронных генераторов РГ в переходных режимах работы.

Разработан способ устранения фликера в сетях низкого напряжения на базе управляемых установок распределённой генерации; предложены прогностические алгоритмы для управления режимами газотурбинных установок.

Цифровые модели и результаты моделирования динамических процессов в районах электропитания неотяговых потребителей и практические рекомендации по применению прогностических регуляторов для установок РГ использованы в научно-технических разработках центра «Параметр». Практические предложения по применению прогностических алгоритмов реализованы в рекомендациях по настройке автоматических регуляторов

турбогенераторной установки мощностью 3,125 МВ•А центральной производственной площадки Хиагдинского месторождения. Материалы диссертации используются в учебном процессе на кафедрах учебных заведений Иркутска и провинции Фу Тхо Социалистической Республики Вьетнам.

Перспектива дальнейшей разработки темы может состоять в проведении исследований, направленных на использование в регуляторах возбуждения и скорости генераторов РГ нелинейных прогнозирующих моделей, а также мультиагентных технологий для согласованной настройки АРВ и АРС.

*05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (транспорт).*

*Работа выполнена в Иркутском национальном исследовательском техническом университете и Иркутском государственном университете путей сообщения, защищена в Иркутском государственном университете путей сообщения.*

**Расказова Е. Е. Управление ресурсообеспечением уровня инновационного развития транспортной компании / Автореф. дис... канд. экон. наук. – М.: РУТ, 2020. – 24 с.**

Цель диссертационного исследования – разработка экономического инструментария комплексной оценки и управления уровнем инновационного развития транспортной компании в условиях высокودинамичной среды.

В результате проведённого исследования подтверждена гипотеза, что структура инновационного потенциала и его ресурсообеспечение определяют уровень инновационного развития транспортной компании, а также существенно влияют на другие составляющие потенциала.

Выявлен комплекс показателей, характеризующих компоненты потенциала, которые определяют уровень инновационного развития компании. Они связаны с используемыми ресурсами, их структурой, применяемыми технологиями. На основе этого анализа сформированы компоненты составляющих инновационного потенциала компании;

Разработаны модели и алгоритм определения уровня инновационного развития транспортной компании, позволяющие оценить его влияние на все составляющие её потенциала, что позволяет повысить объективность оценки фактического уровня инновационного развития транспортной компании.

Предложен методический подход к оценке влияния составляющих инновационного потенциала на экономические показатели компании и сформирован алгоритм оценки необходимого изменения составляющих потенциала при задаваемых требованиях к изменению экономических показателей. Алгоритм может быть положен в основу системы мониторинга хозяйственной деятельности транспортной компании.

В качестве перспектив дальнейших исследований по данной теме представляется необходимым большая детализация проработки уровня инновационного развития транспортной компании, а также анализ связи структуры ресурсов с уровнем инновационности технологии, характером и фазами жизненного цикла внедряемого проекта.



08.00.05 – Экономика и управление народным хозяйством (экономика, организация и управление предприятиями, отраслями, комплексами – транспорт).

Работа выполнена и защищена в Российском университете транспорта.

**Тюляндин О. Н.** Разработка методов и средств RFID-навигации для управления движением поездов метрополитена / Автореф. дис... канд. техн. наук. – СПб.: ПГУПС, 2020. – 18 с.

Целью исследования являлось повышение эффективности функционирования систем автоматического управления движением поездов метрополитена с помощью RFID-навигации, в которой навигационная точность и надёжность выступают основными показателями.

В ходе исследований, выполненных в диссертационной работе, проведён аналитический обзор существующих методов и средств привязки поездов метрополитена к координатам пути в России и за рубежом. По результатам обзора предложено создание RFID-навигации, в которой навигационная точность и надёжность являются основными показателями.

Определены функции RFID-навигации, включающие непрерывное позиционирование поездов на линии с достаточной точностью для решения задач автоматического управления движением поездов метрополитена. Основное отличие RFID-навигации от существующих способов привязки заключается в автоматическом вводе начальных координат поездов на линии без участия машиниста. Разработан компенсационный метод, позволяющий обеспечить непрерывность привязки при обнулении накопленных ошибок.

Разработаны вероятностные методы, математические модели и программы оценки вероятности пропусков считывания радиочастотных меток для ридеров с внешним запуском и с непрерывным сканированием, позволившие исследовать их причины и дать рекомендации для уменьшения числа пропусков на два порядка, заключающиеся в увеличении времени сканирования до максимального значения. Для новых разработок предложен переход на ридеры с непрерывным сканированием.

Разработаны методы, математические модели и программы для оценки навигационной точности позиционирования поездов по радиочастотным меткам. В работе впервые получены точностные характеристики RFID-привязки. Для ридеров с внешним запуском точность привязки в зоне низких скоростей  $\pm 25$  см, для ридеров с непрерывным сканированием  $\pm 10$  см. Результаты подтвердили возможность применения RFID-навигации для управления движением поездов на станциях закрытого типа.

Разработаны оригинальные методы и алгоритмы технической диагностики RFID-средств, позволяющие контролировать и прогнозировать техническое состояние радиочастотного тракта аппаратуры СБПП. Предложенные решения позволяют своевременно выявлять увеличение переходного сопротивления в разъёмных соединениях для предотвращения пропусков считывания радиочастотных меток из-за ослабления сигнала.

05.22.08 – Управление процессами перевозок. Работа выполнена и защищена в Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I.

**Хамидов О. Р.** Научные основы совершенствования методов диагностирования асинхронных тяговых электродвигателей локомотивов на железных дорогах Республики Узбекистан / Автореф. дис... докт. техн. наук. – СПб.: ПГУПС, 2021. – 32 с.

В диссертационной работе поставлена и решена важная научно-техническая проблема разработки научнообоснованных методов диагностирования и прогнозирования технического состояния асинхронных тяговых электродвигателей (АТЭД) локомотивов для повышения их эксплуатационной надёжности и обеспечения безопасности движения поездов на железных дорогах Республики Узбекистан. При этом использовались результаты стендовых испытаний и обработки измерительной информации средств диагностики АТЭД локомотивов, находящихся в эксплуатации, с помощью интеллектуального анализа данных, а конкретно с применением технологии искусственных нейросетей (ИНС) и экспертных систем.

Установлено, что существующие системы мониторинга, диагностики и управления эксплуатацией локомотивов нуждаются в существенных доработках. Процесс мониторинга и диагностики локомотивов уже не может быть стандартного представленным в рамках «обычных» программ технического обслуживания и ремонта, плохо адаптируется программно-техническое обслуживание к быстро меняющимся условиям эксплуатации и отсутствует система поддержки, принятия решений, также специализированное программное обеспечение для параметрической идентификации прямых и обратных нейросетевых моделей АТЭД локомотивов.

Предложена концепция построения современных интеллектуальных систем контроля, диагностики и прогнозирования технического состояния оборудования АТЭД локомотивов на основе применения количественных и качественных моделей с применением нейронных сетевых технологий и методов теории принятия решений с помощью экспертных систем.

Установлено, что условием эффективного применения стендовых испытаний и встроенных средств диагностики АТЭД локомотивов является необходимость проработки дополнительных мер на стадии проектирования современного локомотива, в котором необходимо предусмотреть определение критических групп оборудования с глубиной их контроля, диагностирования, а также создание перечня контролируемых параметров и выбор научнообоснованных методов обработки получаемой информации на основе выполненного анализа методов отечественных и зарубежных стационарных и встроенных средств технической диагностики.

Разработан комплекс моделей процесса контроля, диагностики технического состояния АТЭД локомотивов на основе SADT-методологии и IDEF-технологий, что позволяет выявить основной ряд функциональных задач диагностики и обосновать требования к выбору методов, алгоритмов и приня-

тия решений в процессе мониторинга, диагностики и прогнозирования технического состояния локомотивов, что обеспечивает повышение достоверности классификации фактического состояния локомотивов в системах контроля и диагностики.

Установлено, что особенностью задач получения и обработки информации в системах контроля, диагностики, помимо структуры данных, является наличие экспертного опыта диагностирования, применение которого позволяет повышать эффективность классификации фактического состояния АТЭД локомотивов при ограниченном объеме обучающей выборки, также прогнозирования его технического состояния.

Разработаны формализованные методы и методики контроля и диагностики технического состояния АТЭД локомотивов с применением нейросетевых технологий, экспертных систем, на основе использования в процессе диагностики математической модели АТЭД, позволяющих увеличить производительность и достоверность процессов диагностики технического состояния оборудования локомотивов по результатам стендовых испытаний и анализа измерительной информации встроенных средств диагностики эксплуатируемых локомотивов, которые позволяют сократить затраты на мониторинг и диагностику технического состояния локомотивов в процессе его стендовых испытаний и при эксплуатации в 2–3 раза за счёт более полного использования априорной и апостериорной информации о режимах работы АТЭД, автоматизации процессов обработки полученных данных, применения современных методов интеллектуального анализа данных на всех этапах диагностики АТЭД и принятия решений.

Разработаны имитационные модели АТЭД локомотивов и его составляющие, с помощью которых был создан тренировочный набор для обучения ИНС.

Разработана методика, основанная на современных нейросетевых технологиях, позволяющая быстро и эффективно исследовать несимметричные режимы при работе АТЭД локомотивов, которые дают возможность решать широкий спектр практических задач мониторинга технического состояния локомотивных АТЭД.

Обоснован и предложен усовершенствованный метод глубокого обучения (объединения функций) для контроля, диагностики и прогнозирования технического состояния обмоток и подшипниковых узлов АТЭД локомотивов, обеспечивающий возможность улучшить способности обучения с применением глубокого автокодировщика неисправностей и особенностей АТЭД для дальнейшего повышения эффективности диагностики. Функции глубокого объединения вводятся в *softmax* для обучения интеллектуальной модели диагностики неисправностей обмоток и подшипников АТЭД локомотива. Полученные результаты подтверждают, что предлагаемый метод является более эффективным и надёжным для изучения особенностей и диагностики неисправностей обмоток и подшипников АТЭД локомотива, чем традиционные методы. По сравнению со стандартным НС предлагаемый способ показывает несколько лучшую производительность.

Универсальность разработанных методик и способов обнаружения неисправности, обработки измерительной информации для повышения

качества диагностирования АТЭД локомотива подтверждена в процессе реализации усовершенствованного метода глубокого обучения для обнаружения неисправности, диагностики и прогнозирования технического состояния ротора и подшипниковых узлов АТЭД локомотивов.

Теоретически обосновано, что использование актуальных интеллектуальных методов и программного обеспечения систем контроля параметров, диагностики и прогнозирования технического состояния АТЭД с применением ИНС и экспертных систем даёт значительный экономический эффект за счёт предотвращения внезапных отказов и аварий, выявления зарождающихся дефектов и своевременного принятия мер по предотвращению их развития, отказа от проведения регламентных работ на исправном АТЭД, правильного планирования ремонтов, точного планирования расходуемых материалов для ремонта и, как следствие, снижения запасов запчастей, а также за счёт продления ресурса работы объектов диагностирования.

Достоверность и адекватность нейросетевых диагностических моделей подтверждается устойчивой сходимостью результатов моделирования и полученных данных по результатам стендовых испытаний АТЭД современных локомотивов. Среднеквадратичная ошибка отклика моделей меньше случайной погрешности изменения контролируемых диагностических параметров локомотивов.

Установлено, что для создания диагностических устройств и программно-аппаратных комплексов весьма желательно применять усовершенствованный метод глубокого обучения НС, так как он является мощным средством распознавания и прогнозирования сигналов, а его способность к обучению даёт возможность разрабатывать адаптивные системы защиты и диагностики оборудования локомотивов. Использование нейросетевых технологий для оперативного контроля, коррекции объёмов плановых видов ремонта, а также оценка технического состояния оборудования локомотивов имеет хорошие перспективы, позволяющие максимально использовать весь объём диагностической информации, хранящейся на бортовом компьютере для повышения показателей эффективности системы технического ремонта и обслуживания.

Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена эффективность предложенной методологии, которая диагностирует неисправности для сбалансированных и несбалансированных наборов данных АТЭД локомотивов с применением современных методов глубокого обучения. Прежде всего, полученные сигналы вводятся в построенный алгоритм НС для послыонного извлечения признаков, после чего извлечённые глубоко чувствительные признаки передаются в классификатор для контроля, диагностики и прогнозирования технического состояния АТЭД локомотивов.

*05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация.*

*Работа выполнена и защищена в Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I.*



## НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ

**Список книг российских, а также иностранных издательств на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.**

**The list of titles in English is published in the second part of the issue.**

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-22>

Арепьев А. Н. Концептуальные основы синтеза проекта винтовых самолётов: теория, примеры, тесты. – СПб.: Моя строка, 2021. – 641 с. ISBN 978-5-9965-1502-8.

Баженов С. Г. Основы динамики полёта: Учебник. – М.: Физматлит, 2021. – 431 с. ISBN 978-5-9221-1906-1.

Богданова В. А. Гоголева А. В., Котенко О. В. и др. Технология работы сортировочной станции: Учеб. пособие. – СПб.: ПГУПС, 2021. – 66 с. ISBN 978-5-7641-1494-1.

Бочкарева Н. А. Особенности отдельных видов грузовых перевозок (автомобильный транспорт): Учеб. пособие. – Саратов: Профобразование, 2021. – 250 с. ISBN 978-5-4488-1290-3.

Ветошкин В. М., Гуменюк И. В., Лялюк И. Н., Чискидов С. В. Основы управления полётами и воздушным движением авиации Российской Федерации: Учеб. пособие. – М.: Издательство МАИ, 2021. – 99 с. ISBN 978-5-4316-0800-1.

Гавриленко Н. Г., Бородулина С. А. Стратегическое управление развитием автотранспортной системы РФ в структуре цифровой экономики: Монография. – Омск: Издательство ОмГА, 2021. – 171 с. ISBN 978-5-98566-199-6.

Гордейчик С. В. Кибербезопасность микропроцессорных систем управления на железнодорожном транспорте. – М.: Горячая линия – Телеком, 2021. – 118 с. ISBN 978-5-9912-0897-0.

Григорьев В. А., Кузьмичев В. С., Зрелов В. А. и др. Малоразмерные авиационные газотурбинные двигатели: Учеб. пособие / Под общ. ред. д. т. н. А. И. Ланшина. – Самара: Изд-во Самарского ун-та, 2021. – 435 с. ISBN 978-5-7883-1587-4.

Гузий А. Г., Лушкин А. М., Мишин А. В., Ширяев Д. А. Система управления безопасностью полётов эксплуатанта воздушных судов: Учеб. пособие. – М.: ИД Академии Жуковского, 2021. – 180 с. ISBN 978-5-907275-81-2.

Иванов Д. А., Петрова Т. В. Методы и средства диагностирования авиационной техники: Учеб. пособие. – СПб.: Гамма, 2021. – 114 с. ISBN 978-5-4334-0514-1.

Исмагилов Ф. Р., Вавилов В. Е., Валиев Р. Ш., Уразбахтин Р. Р. Системный подход к проектированию авиационных электрических машин: Монография. – М.: Инновационное машиностроение, 2021. – 306 с. ISBN 978-5-907104-67-9.

Каширин В. П., Лихачёва Э. В., Николаева Л. П., Огнев А. С. Эффективное преодоление стрессов как составляющая управления ресурсами экипажа

(CRM). – М.: Спутник+, 2021. – 21 с. ISBN 978-5-9973-5978-2.

Климов А. А., Стручков А. В. Исследование работы трибологической пары «Бандаж колеса локомотива – тормозная локомотивная колодка» в условиях эксплуатации: Монография. – Красноярск: СибГУ им. М. Ф. Решетнева, 2021. – 295 с. ISBN 978-5-86433-853-7.

Кудряков С. А., Кульчицкий В. К., Поваренкин Н. В. и др. Радиотехническое обеспечение полётов воздушных судов и авиационная электросвязь: Учеб. пособие / Под ред. С. А. Кудрякова. – М.: Инфра-М, 2021. – 298 с. ISBN 978-5-16-016820-3.

Лихачёва Э. В., Николаева Л. П., Огнев А. С. Осознание ситуации (осведомлённость) как составляющая управления ресурсами экипажа (CRM). – М.: Спутник+, 2021. – 21 с. ISBN 978-5-9973-5985-0.

Лыкова А. А., Марков Д. С., Наседкин О. А. и др. Методы моделирования систем и процессов в железнодорожной автоматике и телемеханике: Учеб. пособие. – СПб.: ПГУПС, 2021. – 63 с. ISBN 978-5-7641-1600-6.

Месропян А. В., Митягина М. О. Экспериментальные исследования электрогидравлических следящих приводов: Учеб. пособие. – Уфа: УГАТУ, 2021. – 181 с. ISBN 978-5-4221-1453-5.

Мокейчев Е. Ю., Мокейчева И. А. Транспортное обеспечение коммерческой деятельности: Учеб. пособие. – СПб.: ПГУПС, 2021. – 68 с. ISBN 978-5-7641-1557-3.

Николаева Л. П., Лихачёва Э. В., Огнев А. С. Эффективные межличностные коммуникации как составляющая управления ресурсами экипажа (CRM). – М.: Спутник+, 2021. – 21 с. ISBN 978-5-9973-5987-4.

Никонов В. О. Современное состояние, проблемы и пути повышения эффективности лесовозного автомобильного транспорта: Монография. – Воронеж: ВГЛУ, 2021. – 202 с. ISBN 978-5-7994-0918-0.

Осинцев Н. А. Организация грузовых автомобильных перевозок. Задачи и упражнения: Практикум. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, 2021. – 103 с. ISBN 978-5-9967-2107-8.

Петрова Т. В., Иванов Д. А. Эксплуатационная технологичность воздушных судов гражданской авиации: Учеб. пособие. – СПб.: СПБГУГА, 2021. – 108 с. ISBN 978-5-907354-08-1.

Резчиков А. Ф., Богомолов А. С. Системный анализ аварийных комбинаций событий при управлении человеком-машинными системами. – Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 2021. – 126 с. ISBN 978-5-292-04684-4.

Старчиков С. А. Основы аэронавигации: Учеб. пособие. – Саратов: Профобразование, 2021. – 247 с. ISBN 978-5-4488-0884-5.

Хачумов М. В. Методы обработки слабоструктурированной информации и интеллектуально-геометрического управления беспилотными летательными аппаратами. – М.: URSS: Ленанд, сор. 2021. – 299 с. ISBN 978-5-9710-8733-5.

Ходош М. С., Бачурин А. А. Организация транспортно-логистической деятельности на автомобильном транспорте: Учебник / 4-е изд., перераб. – М.: Академия, 2021. – 303 с. ISBN 978-5-4468-9192-4.

Составила Н. Олейник ●



## УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Этот номер журнала «Мир транспорта» выходит с изменённой структурой.

Продолжая издавать журнал с открытым доступом и полностью идентичными текстами всех материалов на русском и английском языках, для Вашего удобства при чтении и знакомстве с ним в электронных базах данных, начиная с данного номера, журнал будет состоять из двух условных частей. Вместо включения в единую статью следовавших друг за другом текстов на двух языках, в первой части выпуска будут публиковаться тексты статей на русском языке, во второй – на английском языке. Обложка журнала будет сохранять параллельную двуязычную структуру, а содержание публиковаться с указанием страниц русскоязычной и англоязычной версий статей.

Кроме этого, за счёт изменения дизайна в статьях по-новому представлены данные об авторах, добавлены информа-

ция о типе статьи и ссылка для её цитирования.

Надеемся, что данные изменения окажутся полезными для Вас и сделают знакомство с журналом более продуктивным.

Архив выпусков, информация о журнале и инструментарий подачи статей на рассмотрение находятся по тому же адресу в Интернете: <https://mirtr.elpub.ru/jour/index>. С выпусками журнала можно также ознакомиться на нашей странице в Научной электронной библиотеке.

Приглашаем исследователей, преподавателей и иных читателей, кроме направления научных статей присылать материалы о вышедших новых книгах по транспортной тематике, защищённых диссертациях для рассмотрения редакцией возможности публикации соответствующей информации на наших страницах.

Редакция журнала  
«Мир транспорта» ●





## DEAR READERS,

This issue of the World of Transport and Transportation Journal appears with the updated structure.

While continuing the open access publication of all the articles, texts and materials in bilingual fully identical Russian and English versions, the journal starting from this issue will be divided into two conditional parts for your comfort when reading paper copy or acquainting with its e-version indexed in digital databases. Rather than divide a single article into two consecutive parts respectively in Russian and English, the first part of the issue will contain articles in Russian, and the second part will include the same articles in English. The covers will continue to be bilingual, while the contents in two languages will be published at the pages 1–4 with different numbering of pages for Russian and English versions of the articles.

Besides, the slightly updated publications' design allows to change the form of presenting

the authors, and to include additional information on the type of the article and for its citation.

We dare hope that this updating intended for our readers and researchers will be useful and will allow more productive acquaintance with the journal.

The archives of the past issues, information about the journal, its policy, ethics, and tools for submitting the articles are at the same website (<https://mirtr.elpub.ru/jour/index>).

Besides submitting original articles, we welcome researchers, academic staff, students, and readers to submit materials on new books on transport and transportation, recent Ph.D. and D.Sc. theses resulted in attribution of scientific degrees, in view of possible publication of relevant information and materials in the journal.

**Editorial Council  
and Editorial Staff ●**

# T



## WAGONS 150

*Elastic fastenings of equipment to increase natural vibration frequency of the wagon body. Calculation based on finite elements method.*



## RISK MANAGEMENT 156

*Management systems: accounting for social and individual risks.*



## ROLLING STOCK 161

*Model of starting heavy train with elastic coupling.*



## TANK WAGON 167

*Model of oscillation of partially filled tank.*

### THEORY





# Application of Elastic Fastenings of Equipment to Increase Vibration Frequency of the Wagon Body



Ruslan V. GUCHINSKY

**Ruslan V. Guchinsky**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> TMH Engineering LLC, St. Petersburg, Russia.

<sup>2</sup> Institute for Problems in Mechanical Engineering of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia.

✉ [ruslan239@mail.ru](mailto:ruslan239@mail.ru).

## ABSTRACT

Improving dynamic performance is a priority when designing new rolling stock. The frequency of natural bending vibrations of the body is one of the most important standardised indicators, a preliminary assessment of which allows obtaining optimal body designs.

The objective of the work is to assess the prospects for the use of elastic fastenings of equipment to increase the natural vibration frequency of wagon bodies of suburban electric trains. Calculations were based on the finite element method and block Lanczos method.

It is shown that it is advisable to use the rigid area tool and linearly elastic finite elements to calculate the frequencies in the simulation. The main ranges of fastening stiffness are highlighted,

where the effect of using elastic supports is different. It is proposed to determine the stiffness of fastenings according to a given vibration frequency of the equipment. When the equipment is rigidly attached, the relative mass of the equipment does not affect the body bending vibration frequency. With elastic fastening, a greater effect can be achieved with a larger relative weight of the equipment. The effect of using resilient mounts increases with heavier equipment located closer to the centre of the body. It is shown that the effect of shear admittance of fastenings on the body vibration frequency is within 1% and may not be considered in the simulation. In the considered example of a wagon body of a suburban electric train, the use of elastic supports allows an increase in the frequency of oscillations of the body by 3–10%.

**Keywords:** railway, body, electric train, fastening stiffness, finite element method, modal analysis, natural frequency, wagon dynamics.

*For citation:* Guchinsky, R. V. Application of Elastic Fastenings of Equipment to Increase Vibration Frequency of the Wagon Body. World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 2 (93), pp. 150–155. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-1>.

**The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.**  
**Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.**

## INTRODUCTION

The development of modern railway transport involves an increase in design speeds while ensuring traffic safety. An increase in speed of movement inevitably causes difficulties in ensuring the dynamic qualities of the running gear. One of the ways to solve this problem is to reduce the weight of wagons. Optimisation of the design of the running gear to reduce weight is relevant for any speed of movement, since it leads to a decrease in wear in the wheel-rail system, a reduction in energy consumption and an increase in passenger capacity [1].

One of the elements of the wagon with the highest specific weight is the body. However, reduction in the mass of the bodies leads to a decrease in overall rigidity that negatively affects frequency of natural vibrations, the level of vibration acceleration, and, accordingly, the indicators of smoothness. An increased level of dynamic loading of the body can lead to fatigue damage [2]. Therefore, development of various damping systems is relevant. For the entire vehicle, the correct choice of parameters of two stages of spring suspension is first of all important [3; 4]. Choosing the most efficient body design in terms of weight and rigidity is also important to ensure dynamic performance. One of the normalized parameters of dynamic properties is the first frequency of natural bending vibrations of the body (FNBV). According to Russian domestic regulatory documents, its value for a fully equipped car body of multiple unit rolling stock should not be less than 8 Hz<sup>1</sup>. This parameter allows an express assessment of the dynamic qualities of the body without building a complete dynamic model. The higher is FNBV value, the lower the average levels of vertical acceleration will be and, other things being equal, the lower will be the smoothness of the ride. An increase in the value of the first FNBV can be achieved with the help of new structural materials, optimisation of the body structure and the location of the internal ribs of extruded panels, and variation in the location of window and door openings [5–8]. In case of using a rigid fastening of undercarriage equipment, an increase in the value of FNBV can be achieved with the help of a rational arrangement of boxes [9]. Meanwhile, the elastic attachments of equipment can also affect the dynamic qualities of the vehicle [10].

<sup>1</sup> GOST [Russian state standard] 33796-2016. Multiple unit rolling stock. Requirements for strength and dynamic properties, P. 3.

Studies of high-speed rolling stock show that the use of elastic supports, with the correct choice of rigid and damping properties, makes it possible to reduce the amplitudes of vibration accelerations in the vertical and transverse directions and improve the smoothness of the ride [11]. Suspension parameters must be carefully selected to avoid resonance during joint vibrations of equipment and body [12].

Vibration damping is possible due to the use of active and passive vibration dampers, vibration isolating supports. Due to the high cost of dampers, vibration isolating supports are most often used. However, in this case, it is not possible to achieve high values of the damping coefficient due to significant heating of the isolating material, which increases the likelihood of its aging and destruction [13].

Dynamic calculations can be performed analytically, using the differential equation of motion and a beam model of the body [14], or using three-dimensional finite element models [11]. The latter method is the most accurate, as it allows to adequately consider the actual rigidity of the body [15]. Until now, studies of influence of flexibility of equipment fastenings have been carried out for high-speed rolling stock without considering the influence of standing passengers [10; 12; thirteen].

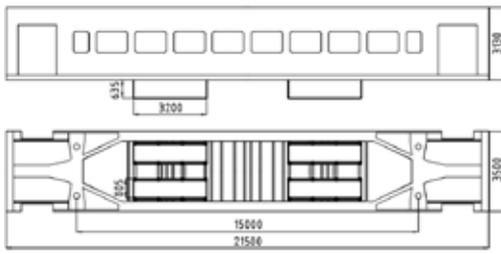
The *objective* of this work is to assess the prospects of using flexible supports for fastening equipment of wagons of suburban electric trains marked by intense vibrations of the frame structure.

## RESULTS

### Body Design and Calculation Procedure

The body of a suburban train wagon taken as an example for further study (Pic. 1), made of structural steel, consists of a frame, side and end walls and a roof. For the body material, Young's modulus is set to  $2,1 \cdot 10^5$  MPa and Poisson's ratio is 0,3. A structure with two planes of symmetry is considered, which, under symmetric vertical loading, allows using a quarter of the body in calculations. The body frame has a classic design, consisting of a closed profile body frame, cross bearers, span bolsters and reduced centre sills. The span bolsters are connected to the body frame with side frame diagonals. The vestibules are located in the end parts of the body, there are exits to the lower platforms. In the undercarriage space there are four equipment boxes of the same weight. The





Pic. 1. Structural diagram of an electric train wagon body (the author's diagram).

structure is loaded with its own gross weight, including the weight of passengers sitting and standing on the free floor area at the rate of 7 persons/m<sup>2</sup>. The location of all internal elements of the wagon is considered on the basis of the design documentation. Loads are applied by varying the density of the respective body parts.

The body is located on elastic supports with a vertical stiffness of 0,66 MN/m, which corresponds to the total stiffness of two suspension stages for a gross weight of 55000 kg of a wagon body. Since only vertical vibrations are considered, stiffness of supports in other directions is not taken into account in all cases, with the exception for a separate assessment of their impact on FNBV. For four boxes of undercarriage equipment, an assessment was made of the influence of rigidity of equipment fastenings on FNBV. Each box weighs from 275 to 1100 kg. The rigidity of the box was modelled in two ways: using the full frame model of the box and using the rigid area. The rigid area assumes the mutual limitation of translational degrees of freedom for the main node corresponding to the centre of mass of the box, and the secondary nodes, which are located at eight points of the box attachment – the lower nodes of elastic elements that simulate flexible attachments. The upper nodes of these elastic elements are located on the brackets and bearers of the body at the attachment points of the equipment.

Frequencies of natural vibrations are determined using ANSYS software package by the finite element method using the block Lanczos method. To simulate the body and equipment, four-node thin shell elements, one-node mass elements, and two-node linear elastic elements are used. The average shell finite element size in the model is 50 mm.

### Analysis of Simulation Results

The results of calculating FNBV with

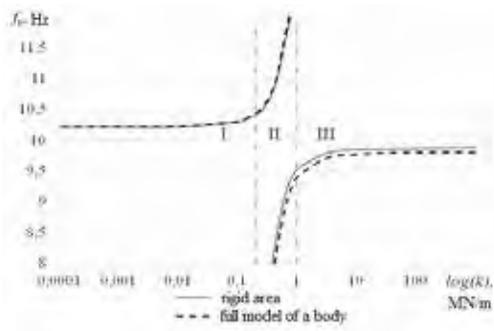
<sup>2</sup> GOST 33796-2016. Multiple unit rolling stock. Requirements for strength and dynamic properties, P. 3.

stiffness of fastenings from 0 to 1000 MN/m are shown in Pic. 2. Simulation of equipment boxes with a rigid area leads to an error in determining the upper FNBV up to 1 % (left curve) and the lower FNBV up to 3,5 % (right curve) for a given body design. In further calculations, the rigidity of the equipment is modelled using a rigid area.

Natural vibration frequencies of equipment boxes as a rigid whole body with low rigidity of fastenings do not cause bending vibrations of the body. Their oscillations occur at frequencies of 3–6 Hz, which exceed the frequency of body bouncing oscillations, but do not exceed FNBV. With an increase in rigidity of fastenings, the natural vibrations of the boxes begin to cause bending vibrations of the body, the amplitudes of which increase. At a certain stiffness value of fastenings, the amplitude of body oscillations on the lower FNBV (at which the boxes and the body experience in-phase oscillations) become comparable to the amplitudes on the upper FNBV (oscillations of the boxes and the body in antiphase). With a further increase in rigidity of fastenings, bending vibrations of the body are determined by the lower FNBV (Pic. 2). In the limiting state, when the rigidity of fastenings is high (the absence of elastic fastenings), the masses of the body and equipment also vibrate in one and the same direction.

Thus, it is possible to distinguish three conditional ranges of rigidity of equipment fastenings, which affect the dynamic qualities of the body. The first range of low stiffness (Pic. 2) is characterized by low vibration frequencies of the equipment and does not meet safety requirements of railway transport due to possible resonance with vibrations of the body on spring suspension. The second range of medium stiffness is transitional and its left part contains mostly the values of the fastening stiffness that are the most optimal from the point of view of improving the dynamic qualities of the body. However, when the stiffness values correspond to its right side, it is possible that low FNBV appear, which devalues the use of elastic fastenings. Finally, in the third range of high stiffness, the body experiences in-phase vibrations with the equipment boxes at frequencies lower than the frequency when the equipment is rigidly attached.

Also, FNBV values were obtained for various weight fractions of equipment. The values of stiffness of elastic fastenings were taken at a given natural vibration frequency of the equipment as of a body with one degree of freedom:



Pic. 2. FNBV with different rigidity of fastening of undercarriage equipment with a total weight of 4400 kg (developed by the author).

$$k = \frac{4\pi^2 f^2 m_{eq}}{n}, \quad (1)$$

where  $f$  is frequency of natural vibrations of the equipment;

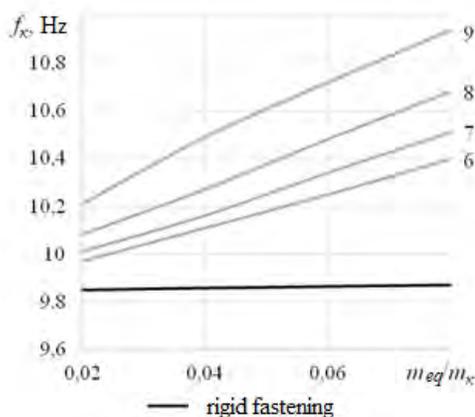
$m_{eq}$  – mass of the equipment;  
 $n$  – number of box fasteners.

The range of equipment vibration frequencies 6–9 Hz is considered. For all considered fastening stiffnesses, the upper FNBV is proportional to the value of the specific weight of the equipment (Pic. 3). Consequently, the greater is the weight of the equipment located on the body, the greater increase in the upper FNBV can be achieved.

When setting a certain frequency of the box for selection of the stiffness of fastenings, it should be borne in mind that the actual natural frequencies of the boxes can be, as the calculation shows, 2–5 % less than the indicated frequency. This is due to the additional flexibility of the fastening areas in the body bearers.

To effectively reduce body vibrations with a relative weight of the equipment of 0,02–0,08, the frequency of the equipment should be approximately 12–42 % lower than FNBV on spring suspension, taking into account the flexibility of the equipment fastenings.

With a given mass of equipment, the greatest influence of the equipment on FNBV can be achieved by increasing the rigidity of its fastenings. However, the stiffness values in this case must belong to the left side of the transition range in order to avoid the appearance of resonant oscillations at the lower FNBV. For example, Pic. 4 shows the forms of bending vibrations of the body for a specific gravity of the equipment of 0,08 and vibration frequencies of the equipment of 6 and 9 Hz. If at a frequency of 6 Hz the amplitudes of body oscillations at the lower frequency are an order of magnitude less than the amplitudes at the



Pic. 3. Dependence of FNBV on specific weight of the equipment (on the right – values of  $f$ , Hz) (developed by the author).

upper one (Pic. 4a), then at a frequency of 9 Hz the amplitudes of the oscillations differ by a factor of two (Pic. 4b). Thus, the use of the equipment fastening rigidity higher than 0,44 MN/m (which corresponds to the equipment vibration frequency of 9 Hz) in this case can lead to the undesirable appearance of resonant oscillations at the lower FNBV of 8,38 Hz (Pic. 4b). In fact, this will mean a negative effect of the use of flexible fastenings, since FNBV with a rigid fastening of equipment in this case is 9,85 Hz.

When the equipment is rigidly attached, FNBV on flexible supports does not depend on the specific weight of the equipment. At the same time, it is known that there is a proportional increase in FNBV on rigid supports with an increase in the specific weight of rigidly fixed equipment [9].

The influence of arrangement of boxes of undercarriage equipment was estimated by calculations for models with four, two and one boxes of the same total mass of 4,4 tons. Each box had eight fastenings (Pic. 5).

When the equipment is located in four boxes, the upper FNBV turns out to be the smallest. When the equipment is located on the sides of the wagon in two boxes or in the centre of the body in a single box, FNBV increases by about 2–3 % (Table 1). The instability of frequency values in case of one or two boxes is explained by the different flexibility of the fastening bearers. A more distant location of the equipment from the centre of the body leads to less compensation for body oscillations in antiphase with the equipment and, accordingly, to a lower value of FNBV. Thus, it is most efficient to locate heavy equipment on elastic supports in places



Influence of equipment location on FNBV

Equipment vibration frequency, Hz	FNBV with the indicated number of boxes, Hz		
	1	2	4
6	10,61	10,62	10,4
7	10,77	10,8	10,51
8	10,94	11,02	10,68
9	11,13	11,28	10,94

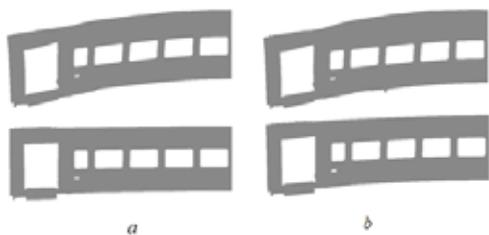


Fig. 4. Forms of body vibrations on the upper (top) and lower (bottom) FNBV at the equipment frequency of 6 (a) and 9 (b) Hz (author's scheme).

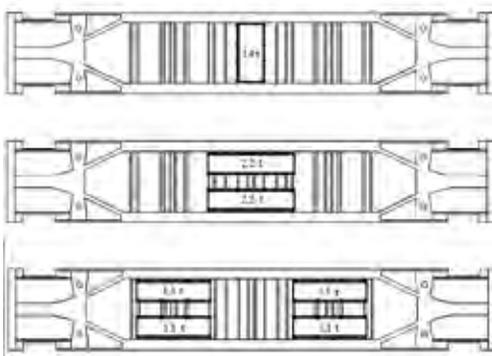


Fig. 5. Variants of location of the undercarriage equipment (the author's schematic diagram).

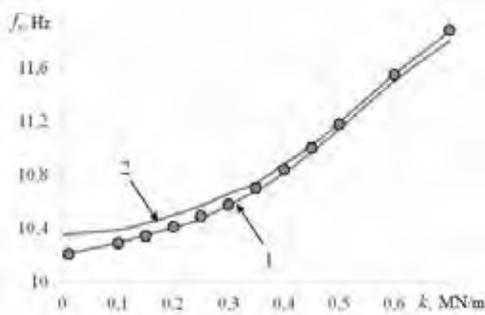


Fig. 6. Dependence of FNBV on vertical stiffness of the equipment fastenings with absolute flexibility (1), absolute rigidity (2) of fastenings in two perpendicular directions. Markers show the same rigidity of fastenings in three directions (developed by the author).

with the highest vibration amplitudes of the body, that is, near its central section. Nevertheless, it is more important to choose the optimal value of rigidity of the equipment fastenings, which allows increasing FNBV in the example under consideration by 3–10 %.

Anti-vibration mountings usually exhibit flexibility not only in the vertical, but also in the longitudinal and transverse directions [13]. To assess the effect of the shear stiffness of supports in the other two directions on FNBV, the body model was supplemented with elastic elements in the attachment areas, which ensure that the stiffness of the supports in the longitudinal and transverse directions is taken into account. Thus, each support for fixing the equipment box was modelled by three independent elastic elements.

The calculation results are shown in Pic. 6. FNBV values corresponding to curve 1 were obtained without considering shear stiffness of fastenings, to curve 2 – considering the absolute shear stiffness. The results obtained at any actual values of shear stiffness are located between these curves. For example, in the case of equal rigidity of fastenings in three directions (markers in Pic. 6). For the values of the vertical stiffness that can be used to increase FNBV (0,1–0,7 MN/m), the differences in FNBV values at various shear stiffnesses do not exceed 1 %. Therefore, when choosing rigidity of equipment fastenings, the shear rigidity of fastenings can be neglected. This simplification is permissible in the case of a bending body shape characterised by intense vertical vibrations. However, in case of considering other modes of vibration (for example, asymmetric diamond-shaped one [16]), shear stiffnesses can have a more significant effect on frequency of natural vibrations.

CONCLUSION

The installation of equipment on flexible fastenings with the optimal selection of their

rigidity leads to an increase in FNBV of a suburban electric train wagon. The preliminary selection of rigidity of fastenings can be carried out according to the values of the natural vibration frequency of the equipment.

Simulation of equipment installed on flexible supports is most efficiently performed using linear elastic elements and a rigid area tool, which allows estimating FNBV with an error of no more than 1 % compared to the method of full modelling of the equipment frame. In this case, the influence of the shear stiffness of the supports on FNBV is less than 1 % and may not be taken into account.

The heaviest equipment, when installed on flexible fastenings, is advisable to be located closer to the centre of the body for more effective compensation of bending vibrations of the body.

With a constant gross mass of the body, an increase in the relative mass of the equipment installed on flexible mountings from 0,02 to 0,08 leads to an increase in FNBV on elastic supports, and practically does not cause changes in FNBV in case of a rigid attachment of the equipment.

## REFERENCES

1. Lee, H. A., Jung, S.-B., Jang, H.-H., Shin, D.-H., Lee, J. U., Kim, K. W., Park, G.-J. Structural-optimization-based design process for the body of a railway vehicle made from extruded aluminum panels. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 2015, Vol. 230 (4), pp.1283–1296. DOI: <https://doi.org/10.1177/0954409715593971>.
2. Guchinsky, R. V., Petinov, S. V. Development of the ship's structure unit according to the fatigue life condition [*Razrabotka uzla konstruktivnoy sudna po usloviyu ustalostnoi dolgovechnosti*]. *Scientific and technical bulletins of St. Petersburg State Polytechnic University*, 2012, Iss. 159, pp. 177–186.
3. Sugahara, Y., Takigami, T., Kazato, A., Kogane, R., Sampei, M. Suppression of vertical vibration in railway vehicles by controlling the damping force of primary and secondary suspensions. *QR of RTRI*, 2008, Vol. 49, pp. 7–15. [Electronic resource]: [jstage.jst.go.jp/article/rtriqr/49/1/49\\_1\\_7/\\_pdf](http://jstage.jst.go.jp/article/rtriqr/49/1/49_1_7/_pdf). Last accessed 21.01.2021.
4. Skachkov, A. N., Trifonov, V. E., Zaitsev, A. V. Review of methods for damping vertical bending vibrations of modern passenger car bodies [*Obzor metodov gasheniya vertikalnykh izgibnykh kolebanii kuzovov sovremennykh passazhirskikh vagonov*]. *Proceedings of VIII All-Russian scientific and technical conference «Problems and Prospects for Development of Railway Carriage Building»*. Bryansk, 2019, pp. 166–169.
5. Seo, S. I., Kim, J. S., Cho, S. H. Development of a hybrid composite bodyshell for tilting trains. *Proc. Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 2008, Vol. 222 (1), pp. 1–13. DOI: [10.1243/09544097JRR96](https://doi.org/10.1243/09544097JRR96).
6. Koenig, J., Friedrich, H. E. Integral consideration of the lightweight design for railway vehicles. Rep. German Aerospace Center – Institute of Vehicle Concepts, 2012, 13 p. [Electronic resource]: [https://elib.dlr.de/70976/1/Integral\\_consideration\\_of\\_the\\_lightweight\\_design\\_for\\_railway\\_vehicles.pdf](https://elib.dlr.de/70976/1/Integral_consideration_of_the_lightweight_design_for_railway_vehicles.pdf). Last accessed 21.01.2021.
7. De La Guerra, E. Lightweight primary structures for High-speed railway carbodies. *360.revista de alta velocidad*, 2018, No. 5, pp. 9–21. [Electronic resource]: [https://www.tecnica-vialibre.es/en/ficharticulo\\_en.asp?item=178](https://www.tecnica-vialibre.es/en/ficharticulo_en.asp?item=178). Last accessed 21.01.2021.
8. Wennberg, D., Stichel, S. Multi-functional design of a composite high-speed train body structure. *Struct Multidisc Optim*, 2013, Vol. 50 (3), pp. 475–488. DOI: [10.1007/s00158-014-1056-4](https://doi.org/10.1007/s00158-014-1056-4).
9. Guchinsky, R. V. Influence of equipment rigidity on the natural frequency of bending vibrations of the body of an electric train car [*Vliyaniye zhestkosti oborudovaniya na sobstvennyuyu chastotu izgibnykh kolebanii kuzova vagona elektropoezda*]. *Bulletin of the scientific research institute of railway transport*, 2018, Vol. 77, Iss. 4, pp. 251–255.
10. Dumitriu, M. Numerical study of the influence of suspended equipment on ride comfort in high-speed railway vehicles. *Transactions on Mechanical Engineering (B) (Scientia Iranica B)*, 2020, Vol. 27 (4), pp. 1897–1915. DOI: [10.24200/SCL.2019.50946.1930](https://doi.org/10.24200/SCL.2019.50946.1930).
11. Sun, Wenjing; Zhou, Jinsong; Gong, Dao; You, Taiwen. Analysis of modal frequency optimization of railway vehicle car body. *Advances in Mechanical Engineering*, 2016, Vol. 8 (4), pp. 1–12. DOI: [10.1177/1687814016643640](https://doi.org/10.1177/1687814016643640).
12. Gong, Dao; Zhou, Jinsong; Sun, Wenjing. Influence of under-chassis-suspended equipment on high-speed EMU trains and the design of suspension parameters. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 2016, Vol. 230 (8), pp. 1790–1802. DOI: [10.1177/0954409715614601](https://doi.org/10.1177/0954409715614601).
13. Sun, You; Gong, Dao; Zhou, Jinsong. Study on Vibration Reduction Design of Suspended Equipment of High Speed Railway Vehicles. *Journal of Physics: Conference Series*, 2016, Vol. 744, pp. 1–11.
14. Guo, Jinying; Shi, Huailong; Luo, Ren; Wu, Pingbo. Parametric Analysis of the Car Body Suspended Equipment for Railway Vehicles. *IEEE Access*, 2019, Vol. 7, pp. 88116–88125.
15. Guchinsky, R. V., Petinov, S. V. Preliminary calculation of frequency of natural bending vibrations of bodies of electric trains [*Predvaritelnyy raschet chastoty sobstvennykh izgibnykh kolebanii kuzovov vagonov elektropoezdov*]. *Bulletin of the institute of problems of natural monopolies: equipment of railways*, 2019, Iss. 2 (46), pp. 50–57.
16. Aida, K., Tomoioka, T., Takigami, T., Akiyama, Y., Sato, H. Reduction of Carbody Flexural Vibration by the High-damping Elastic Support of Under-floor equipment. *QR of RTRI*, 2015, Vol. 56, No. 4, pp. 262–267. DOI: [10.2219/rtriqr.56.4\\_262](https://doi.org/10.2219/rtriqr.56.4_262). ●

### Information about the author:

**Guchinsky, Ruslan V.**, Ph.D. (Eng), Expert of the Rail Body Bureau of TMH Engineering LLC, Senior Researcher at Applied Research Laboratory of the Institute for Problems in Mechanical Engineering of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia, [ruslan239@mail.ru](mailto:ruslan239@mail.ru).

Article received 21.01.2021, approved 21.04.2021, accepted 23.04.2021.



# Goals and Risks of Activity as Factors of Regulation in Social Systems in Transport Sector



Nadezhda A. FILIPPOVA



Igor A. BASHMAKOV



Denis Yu. KOCHEGURA

*Nadezhda A. Filippova<sup>1</sup>, Igor A. Bashmakov<sup>2</sup>, Denis Yu. Kochegura<sup>3</sup>*

<sup>1,2</sup> *Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Moscow, Russia.*

<sup>3</sup> *Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia.*

✉ <sup>1</sup> *madizp@mail.ru.*

## ABSTRACT

Significant changes that are currently taking place in the external environment are objective prerequisites for emergence of new management methods that predetermine the practical period of transition of enterprises from strategic planning to strategic management (transfer of thinking based on the future to the thinking based on the present following the principle «here and now»).

So, for example, large production structures focus on stability, therefore they react slowly to changes in the external environment, take little risks, and tend to traditional solutions. Modifying options developed at large enterprises are developing what is, as well as complementing and differentiating the existing situation, where the limited possibilities of any kind of evolution of any system can exist solely within its limits.

Efficiency reflects the results of development, but is not identical with the results, because no saving of some factors of

production can be achieved without additional costs of others. The strategy turns here into real one only if it based on the concept of developing new specific products or processes subject to the following indicator of progress: the maximum earned with the minimum of expenditures.

The objective of the study is to identify modern regulatory factors in social systems in transport sector concealed in the goals and risks of such activities, while the main object of study is road transportation. The article uses methods of theoretical and empirical research in relation to goals and risks that can be determined and observed in the activities of transport socio-technical systems.

Goals and risks are defined as factors that allow regulating key performance indicators of socio-technical systems that affect their effectiveness.

*Keywords:* transport, risks, risk reduction, risk management, risk regulation, transport risks, risk identification, efficiency.

*For citation:* Filippova, N. A., Bashmakov, I. A., Kochegura, D. Yu. Goals and Risks of Activity as Factors of Regulation in Social Systems in Transport Sector. *World of Transport and Transportation*, 2021, Vol. 19, Iss. 2 (93), pp. 156–160. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-19-2-2>.

*The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.  
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.*

## INTRODUCTION

The transport industry is among the sectors more vulnerable to risks, which requires transport companies to use effective enterprise risk management strategies. By using right methods and tools, these companies can reduce a significant portion of their risks and better respond to the situations when they arise [1].

Modern regulatory factors in social systems in transport sector lie in the actual goals of transportation activities, including work in the interests of customers, conscientious fulfilment of obligations undertaken, support and development of mutually beneficial, long-term relationships with partners. Besides, modern regulatory factors in social systems in transport sector are closely related to risks as integral components of transport activities. By managing risks, it is possible to effectively influence both the social and technical components of transport systems.

Risk management is a process of analytical and managerial activity aimed at identifying and responding to emerging uncertainty inherent in managing a complex system and its assets.

The risks that transport companies face vary but can include integrity and safety of the vehicle fleet, safety and retention of drivers, and compliance issues. Some of these risks are directly influenced by external factors such as weather, traffic, and road conditions. Carriers also bear many other risks. They are responsible for delivering the shipments that support the business of their shipper clients. Any disruption, including accidents, loss of cargo or financial problems, can cause a disruption in the supply chain, which damages reputation and lowers profits [2].

Some of the «modern» risks that the transport industry face are related to technological advances, cyber vulnerabilities and market fluctuations caused by international trade disputes. In addition, the deepening shortage of qualified drivers, regulatory compliance and the poor state of road infrastructure are also ongoing challenges. Although many of these risks are beyond the control of transport companies, there are actions they can undertake to reduce their risks and be able to respond to them appropriately [3].

The *objective* of the study is to determine modern factors regulating social systems in transport sector concealed in goals and risks of transportation activity. The study uses the *methods* of theoretical research, based on the study of the degree of elaboration of similar issues by other researchers, of their relevance, on their critical

assessment. Besides theoretical methods, the article uses methods of empirical research in relation to goals and risks, expressed in the presentation of information obtained empirically.

## RESULTS

### Goals and Risks in Transport Sector

Implementing transport risk management is a way of assessing specific risks and developing a strategy to meet those risks.

With so much at stake regarding the impact of transport risks on commercial activity, each transport company must develop a transport risk management solution that will guide their policies and operations. The solution not only reduces risk but can also serve as a powerful sales tool that will attract shippers who want to be sure their goods are in good hands.

When a transport company is unable to implement an effective transport risk management solution, its management advises their employees and customers that risk management is not a top priority. This can be detrimental to morale, to attracting knowledgeable, skilled drivers and winning business. Many shippers are now asking their carriers what rules are in place to mitigate the risks that could affect their shipping. Without a concrete and clear risk management solution that they can easily show customers and determine the level of risks involved, shippers are more likely to go to another carrier. There is too much at stake to take risks.

The main concern of a modern carrier is to ensure smooth operation of the supply chain. As part of their transport risk management efforts, carriers should consider insurance coverage and its terms, responsibility at each stage of the supply chain, business continuity plans, the value of their cargo, as well as ensure loss prevention [4].

Transport risk management may not be the same for any company. However, there are fundamental elements that each transport company should implement in their practices. There are some useful recommendations to be made for transport companies looking to mitigate the risks inherent in their industry:

- Development of executive support for risk management.
- Defining the principles of risk management and responsibility of the organisation.
- Formalisation of approaches to risk management, using a holistic approach to support decision-making and improve successful achievement of strategic goals and objectives.
- Using risk management to revise existing policies, processes, and standards.



- Incorporating risk management into existing business processes so that decisions are made successfully when assets, productivity and risk management are pooled.

- Identification of risk owners and risk management at the appropriate level.

- Use of the risk management process to support distribution of risks in decision-making, development of programs and projects.

- Using risk management to obtain a business case for transportation and gain trust of stakeholders.

- Use of sophisticated risk analysis tools followed by communication of the results to stakeholders.

Modern solutions allow carriers to identify risks, analyse their severity and automate the task of finding alternatives with less risk. Revealing risks involves identifying the shipment and the variables that could affect its delivery. Unfavourable weather conditions, extreme temperatures, social hazards, natural disasters and outages (failures) of infrastructure are among the most common risks [4].

The decision can then accept these identified risks and assess their likelihood at any stage of the delivery route. This is an important factor to consider because when looking only at pick-up and drop-off locations, intermediate points are ignored, while the biggest disruptions can occur right there. Most carriers lack the manpower, technology, or time to gather this amount of information, especially when multiple shipments move to different locations across the country. Technology has dramatically improved accuracy, scale, and speed of revealing this data, and it has improved dramatically over the past decade.

Besides identifying potential risks, they must be analysed to find out their likelihood, severity, geography, and timing. For example, forecasted freezing rain may have a 70 percent chance of falling in one of the northern regions of a country on a Monday route, but if vehicles are expected to leave that region on Sunday, shipment can be made as scheduled. Alternatively, if vehicles are not expected to leave until Tuesday, there is a 50 percent chance that the shipment will be delayed due to road icing.

This is where the next stage of a risk management process can be effective which is decision making. With the information obtained, the carrier can decide when the shipment should begin. If you move the pickup date to an earlier week or postpone it until the temperature rises above freezing, freezing rain may not affect the shipment. Yes, the shipment can be early or late, depending on this decision, but cargo will be safe and will not be affected by low temperatures or slippery roads that can damage cargo and/or vehicles [5].

The carrier can better plan a pickup date, determine which risk the company is willing to take with each shipment, decide what equipment might be needed to protect cargo, determine which mode of transport is the best one. This decision-making phase should include accurate real-time data and predictive data presented in a clear manner.

Flexible planning means transport risk management and it is critical to stay competitive, profitable, and delivering value to the customers.

The key to finding a solution to transport risk management is understanding transparency associated with risks. Both shippers and carriers need to receive real-time information about shipments: what each vehicle carries, how a specific cargo should be transported, delivery routes, expected and actual times of receipt and delivery, as well as all the variables that may affect these various elements [6].

There are many variables, and some of them are unpredictable. Weather, natural disasters, crime, protests or riots, infrastructure problems, drivers' health and safety, and other issues can directly or indirectly affect delivery reliability. By predicting these variables in advance, carriers can better set expectations, lower costs, and ensure that goods are properly cared for and delivered as expected.

This type of detailed visibility, of course, requires appropriate technology, but basic or outdated technology does not meet the needs. Today, more and more companies are relying on artificial intelligence, cognitive technology, and machine learning to collect data that is distributed across multiple systems. The opportunities are numerous, and now the transportation industry must use them to manage their solutions.

When looking for a solution for managing transport risks, it is imperative to find the one that eliminates all risk threats to the company, and provides useful data that will be used for decision making. This means that the company must be aware of its risks, regularly conducting a thorough assessment of them. Transport companies should ask themselves: «What risks can affect the strategic goals and objectives of the company? How should we prioritise our investments? What is the likelihood of delivery on time and on budget» [7]?

Once these factors are understood, a risk management solution can be developed.

In addition to weather and other variables that can affect a carrier's performance, there are always safety concerns. If, for example, the driver does not adhere to the rules of safe driving, not only the cargo is at risk, but also the company, which can be liable for accidents, injury and even death. They are

responsible for each vehicle leaving the warehouse/ storage/dock. The responsibility for compliance by drivers with safety regulations and serviceability of rolling stock lies with the carrier. These considerations are critical to mitigate risks.

Compliance, safety, accountability are pillars of risk prevention, making carriers and their drivers responsible for complying with rules that directly affect safety [8].

### **Factors of Risk Management in Social Systems in Transport Sector**

Below are the risk management factors in social systems in transport sectors.

1. *Unsafe driving* – unsafe driving of a commercial vehicle, for example, speeding, reckless driving, wrong lane changes, inattention, etc. [9].

2. *Failure to comply with working hours* – violation or non-observance of the rules of working hours or driving when tired.

3. *Fitness of a driver* – drivers must have adequate health, psychological and personal qualities, as well as appropriate training and experience to safely operate a vehicle.

4. *Prohibited substances / alcohol* – misuse of prescribed or over-the-counter drugs, or a change in the driver's condition for the worse due to prohibited substances.

5. *Vehicle maintenance* – non-observance of vehicle maintenance rules (headlights, brakes, necessary damage repair, timely maintenance).

6. *Failure to comply with the rules for transportation of dangerous goods* – prevention of leakage of containers and tanks with hazardous substances, incorrect labelling, improperly packed and loaded dangerous goods.

7. *Failure indicator* – frequency and severity of failures.

The goal of transport risk management is not to eliminate risks. Risks are inherent in every industry, and many of them are completely outside the control of any organisation. Instead, transport risk management serves as a system for predicting potential disruptions with a single goal: to help transport companies develop dynamic processes and systems that respond quickly, efficiently, and reliably to changing logistics and transportation challenges [10].

These predictions are just the beginning. They shed light on what can happen sometime and somewhere, but the main goal is to have the right mechanisms available to respond appropriately to these predictions before they negatively impact the business. To have a plan of action in all circumstances

(known, foreseeable or unknown), transport companies must constantly reassess their risks. These are also not one-time procedures. Risks «travel» with each vehicle across thousands of kilometres of roads and across borders. They fluctuate and can change every kilometre of the route [11].

Companies must have access to accurate, reliable, and comprehensive information that provides a clear understanding of vulnerabilities of the supply chain and transport networks. By anticipating outages, companies can proactively minimise their impact. They can create backup plans or reverse plans to reduce the impact. In fact, they can be more resilient to change and threats [12].

An important aspect is the development of relevant skills of management to cope with risks management and to create motivation systems diversified by criteria and rewards [13] comprising development and implementation of corporate risk management systems as evaluated and rewarded indicator. The risk management should be included into corporate training, strategies and concepts of efficiency improvement, leadership development at the corporate headquarters', divisional and front-line units. Many works are dedicated to the development of those systems, particularly regarding risk management (e.g., [14–16]) but each transport company should thoroughly adapt its own system of indicators to existing risks and to remedial actions within its managerial system. It should be explained by the fact that transport companies (in contrast to e.g., banking) have widely different activity features predetermined by body of factors comprising features of rolling stock, transported goods, customers (big shippers, general cargo, etc.), logistics facilities, geography of activity, other factors.

### **CONCLUSION**

So, risk is the effect of uncertainty on goals. In the broadest sense, risk is everything that can become an obstacle to achieving goals and objectives. Risk management is a process of analytical and managerial activity aimed at identifying and responding to uncertainties inherent in managing a complex organisation and its assets.

The practices of risk management in biggest companies show the following:

- Risk management supports strategic organisational alignment.
- Mature organisations have a clear structure for risk management.
- Successful organisations have a culture of risk management.



- A wide range of risk management tools are used.
- Risk management tools are key for making program investment decisions.
- Various methods of risk management are available.
- Active risk communication strategies improve decision making.
- Risk management improves knowledge management and personnel development.

The conclusions drawn are general ones and make a basis for development of risk management systems in particular transport companies.

## REFERENCES

1. Biryukova, O. Yu. Logistic technologies of synchronisation of interaction of interacting modes of transport in the national economy of Russia [Logisticheskie tekhnologii sinkhronizatsii vzaimodeystviya smezhnykh vidov transporta v natsionalnoi ekonomike Rossii]. *Innovative economy: proceedings of IV International scientific conference (Kazan, October 2017)*. Kazan, Book publ., 2017, pp. 91–93. [Electronic resource]: <https://moluch.ru/conf/econ/archive/262/13032/>. Last accessed 26.12.2020.
2. Vlasov, V. M., Velikanov, A. Yu., Filippova, N. A., Litvinenko, R. V. Improving operational requirements for the car and the process of organising movement of perishable goods by special road transport [Sovershenstvovanie ekspluatatsionnykh trebovaniy, predavlyayemykh k avtomobilnyu i protsessu organizatsii peremeshcheniya skoroporyashchikhsya gruzov spetsialnykh avtomobilnykh transportom]. *Bulletin of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)*, 2020, Iss. 3 (62), pp. 30–35.
3. Nekrasov, A. G., Belyaev, V. M., Mirotin, L. B., Volkov, V. D., Spirin, I. V. Logistics engineering for road transport [Logistichesky inzhiniring na avtomobilnom transporte]. *Bulletin of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)*, 2017, Iss. 1 (48), pp. 3–12.
4. Lebedev, E. A., Mirotin, L. B., Naumenko, M. A. Digital transformation of transport [Tsifrovaya transformatsiya transporta]. *Logistics: Modern development trends. Proceedings of the 17<sup>th</sup> International scientific and practical conference*. St. Petersburg, GUMRF named after Admiral S. O. Makarov, 2018, pp. 279–283.
5. Zelenova, E. S., Bykova, Yu. A. Insurance as a method for minimising risks during transportation [Strakhovanie kak metod minimizatsii riskov pri transportirovke]. *Economics, management, finance: proceedings of VI International scientific conference (Krasnodar, February 2016)*. Krasnodar, Novation publ., 2016, pp. 116–118. [Electronic resource]: <https://moluch.ru/conf/econ/archive/172/9591/>. Last accessed 26.12.2020.
6. Mirotin, L. B., Baginova, V. V., Fedorov, L. S., Morozov, V. N., Apatsev, V. I. Logistics methods as a factor of management efficiency [Metody logistiki kak faktor effektivnosti upravleniya]. *Competitiveness in the global world: economics, science, technology*, 2017, Iss. 2–3 (31), pp. 91–98.
7. Filippova, N. A., Bogumil, V. N. Practical testing of the method to forecast the start and end time of navigation period to reduce the risks of insufficient delivery of goods within Northern delivery campaign [Prakticheskaya aprobatsiya metoda prognozirovaniya nachala i konta navigatsii dlia snizheniya riska nedopostavki gruzov severnogo zavoza]. *Bulletin of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)*, 2019, Iss. 3 (58), pp. 88–93.
8. Pokrovsky, A. K., Mirotin, L. B., Bashmakov, I. A. New approaches to transport management in the context of economic globalisation: Monograph [Novie podkhody k upravleniyu na transporte v usloviyakh globalizatsii ekonomiki: Monografiya]. Moscow, Tekhnopoligrafcentr publ., 2019, 288 p.
9. Pokrovsky, A. K., Mirotin, L. B. Logistic management is the key to mutual understanding in the supply chain [Logisticheskiy menedzhment – klyuch k vzaimoponimaniyu v tsepi postavok]. *Logistics: modern development trends. Proceedings of the 19<sup>th</sup> International scientific and practical conference*. St. Petersburg, GUMRF named after Admiral S. O. Makarov, 2020, pp. 38–43. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43773913>. Last accessed 26.12.2020.
10. Filippova, N. A., Karimova, P. A. Organisation of work of interacting modes of transport according to uniform technological processes [Organizatsiya raboty vzaimodeistviyushchikh vidov transporta po edinykh tekhnologicheskim protsessam]. *Repair, restoration, modernization*, 2019, Iss. 2, pp. 42–45. DOI: 10.31044/1684-2561-2019-0-2-42-45.
11. Loza-Hernandez, L., Gendreau, M. A framework for assessing hazard risk at nodes of transport networks. *International journal of disaster risk reduction*, 2020, Vol. 50, pp. 101854. DOI: 10.1016/j.ijdr.2020.101854.
12. Guo, Jingni; Xu, Junxiang; He, Zhenggang; Liao, Wei. Research on risk propagation method of multimodal transport network under uncertainty. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol. 563. DOI: 10.1016/j.physa.2020.125494.
13. Lovett, S., Rasheed, A. A., Wanrong, Hou. Stock options, restricted stock, salary, or bonus? Managing CEO compensation to maximize organizational performance. *Business Horizons*, 2021. DOI: 10.1016/j.bushor.2021.02.041.
14. Almeida, J., Daniel, A., Figueiredo, C. The future of management education: The role of entrepreneurship education and junior enterprises. *The International Journal of Management Education*, 2019, pp. 100318. DOI: 10.1016/j.ijme.2019.100318.
15. Afshari, L., Hadian, Nasab Ali. Enhancing organizational learning capability through managing talent: mediation effect of intellectual capital. *Human Resource Development International*, 2020, Vol. 24, pp. 1–17. DOI: 10.1080/13678868.2020.1727239.
16. Hamlin, R. G., Patel, T. Toward an emergent Asian behavioural model of perceived managerial and leadership effectiveness: a cross-nation comparative analysis of effective and ineffective managerial behaviour of private sector managers in India and South Korea. *Human Resource Development International*, 2020, Vol. 31, pp. 259–282. DOI: 10.1080/13678868.2019.1700076. ●

### Information about the authors:

**Filippova, Nadezhda A.**, Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Road Transportation of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia, [madizp@mail.ru](mailto:madizp@mail.ru).

**Bashmakov, Igor A.**, Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Management of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia, [bashmakov-igor@rambler.ru](mailto:bashmakov-igor@rambler.ru).

**Kochegura, Denis Yu.**, Ph.D. student at Kuban State Technological University (KubSTU), Krasnodar, Russia, [d.kochegura@mail.ru](mailto:d.kochegura@mail.ru).

Article received 02.08.2020, approved 21.04.2021, accepted 23.04.2021.



# Heavy Train Starting Model



**Igor P. Popov**

*Kurgan State University, Kurgan, Russia.*

✉ [ip.popov@yandex.ru](mailto:ip.popov@yandex.ru).

Igor P. POPOV

## ABSTRACT

The starting mode for a ground vehicle is the most difficult since the static friction force is much greater than the dynamic friction force. For trains, this mode is such a serious problem that sometimes it is necessary to take special measures, such as the use of sand in the contact area of the wheel tire with the rail or an auxiliary locomotive. An effective way of starting a train is to select coupling clearances. In this case, cars are set in motion sequentially and the inert mass, as well as the static friction force at the immediate moment of starting are minimal.

This method, however, has two significant drawbacks: a small set value of clearances in couplings, which limits the effectiveness of the method, and the shock nature of the impulse transmission negatively affecting the state of train structural elements. These disadvantages can be avoided by using elastically deformable couplings.

The objective of the work is to show the advantage of starting a train with elastic couplings in comparison with the

traditional mode using its mathematical description and analysis. Starting a train with elastic couplings is much easier than that of a non-deformable one. Moreover, the greater is the number of wagons, the greater is the advantage of the former over the latter. The softening of the mode of starting the train from rest is essentially due to replacement of the simultaneous start-off of the sections by alternate. This process is relevant for inertial forces. Regarding the static friction force, the mechanism will be similar, i.e., not all the static friction force is overcome at the same time, but its small parts are overcome one by one. To exclude longitudinal vibrations of the train, after reaching the maximum tension of the coupling, it is necessary to mechanically block the possibility of its harmonic compression with subsequent sampling of elastic deformation, for example, using damping devices.

The elimination of the transmission of shock loads to the locomotive engines can be considered as an additional positive effect from the use of elastic couplings.

**Keywords:** transport, railway, train, starting, couplings, friction, movement, speed.

---

*For citation:* Popov, I. P. Heavy Train Starting Model. World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 2 (93), pp. 161–166. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-3>.

---

**The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.**  
**Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.**

## INTRODUCTION

The static friction force significantly exceeds the motion friction force. This leads to the fact that the starting mode for a ground vehicle is the most difficult [1–4]. For trains, this mode is such a serious problem that sometimes it is necessary to take special measures, such as the use of sand in the contact zone of the wheel tire with the rail or an auxiliary locomotive [5–7]. This problem is exacerbated by the steady trend of increasing train mass and length.

An effective way of starting a train is to select coupling clearances. In this case, wagons are set in motion alternately and the inert mass, as well as the static friction force immediately at the moment of starting, are minimal [8; 9].

This method, however, has two significant drawbacks: a small fixed value of clearances in couplings, which limits the effectiveness of the method and the shock nature of the impulse transmission negatively affecting the state of train structural elements.

These disadvantages can be avoided by using elastically deformable couplings [10].

The literature presents the results of theoretical studies of structural elements using flexible and elastic components [11–13].

In this regard, the dynamics of the entire train in the starting mode is of interest.

The *objective* of the work is a *mathematical description* of the «easy» starting of a train with elastic couplings.

## RESULTS

Calculation of the mechanical system containing massive locomotives, wagons and elastic couplings is rather cumbersome [14; 15]. To minimise it, the following assumptions are made: the force  $F$  developed by the locomotive is a constant value; masses of the locomotive and wagons are equal to each other and are  $m$ .

### Locomotive and a Single Wagon

The equation of the forces applied to the locomotive has the form:

$$F = m \frac{d^2 x_1}{dt^2} + k(x_1 - x_2), \quad (1)$$

where  $x_1, x_2$  are movements of, respectively, the locomotive and the wagon;

$k$  is elasticity coefficient of the coupling [16].

The forces applied to the wagon satisfy the equation:

$$0 = m \frac{d^2 x_2}{dt^2} - k(x_1 - x_2).$$

From the latter equation it follows that:

$$x_1 = \frac{m}{k} \frac{d^2 x_2}{dt^2} + x_2. \quad (2)$$

Substitution of this equation in (1) gives:

$$F = \frac{m^2}{k} \frac{d^4 x_2}{dt^4} + m \frac{d^2 x_2}{dt^2} + m \frac{d^2 x_2}{dt^2} + kx_2 - kx_2 = \frac{m^2}{k} \frac{d^4 x_2}{dt^4} + 2m \frac{d^2 x_2}{dt^2}. \quad (3)$$

Then let:

$$\frac{d^2 x_2}{dt^2} = z. \quad (4)$$

And then (3) is written as:

$$z'' + 2 \frac{k}{m} z = \frac{kF}{m^2}. \quad (5)$$

Characteristic equation is:

$$r^2 + 2 \frac{k}{m} = 0.$$

Its roots are equal to:

$$r_{1,2} = \pm i \sqrt{2 \frac{k}{m}}.$$

General solution of the corresponding homogeneous equation is:

$$z_1 = C_1 \cos \sqrt{2 \frac{k}{m}} t + C_2 \sin \sqrt{2 \frac{k}{m}} t.$$

Particular solution in accordance with (5) has the form:

$$z_2 = A.$$

Its substitution in (5) gives:

$$2 \frac{k}{m} A = \frac{kF}{m^2}, \quad A = \frac{F}{2m}.$$

General solution of the equation (5) is found as:

$$z = z_1 + z_2 = C_1 \cos \sqrt{2 \frac{k}{m}} t + C_2 \sin \sqrt{2 \frac{k}{m}} t + \frac{F}{2m}.$$

At the moment of time  $t = 0$  the coupling is not deformed, therefore, the force does not act on the wagon and the value (4) is equal to zero. Therefore, for  $t = 0$ , the latter expression will take the form:

$$z(0) = 0 = C_1 \cos \sqrt{2 \frac{k}{m}} 0 + C_2 \sin \sqrt{2 \frac{k}{m}} 0 + \frac{F}{2m}, \quad C_1 = -\frac{F}{2m}.$$

Taking this into account:

$$z = -\frac{F}{2m} \cos \sqrt{2 \frac{k}{m}} t + C_2 \sin \sqrt{2 \frac{k}{m}} t + \frac{F}{2m}. \quad (6)$$

In accordance with (4):

$$v_2 = \int z dt = -\frac{F}{2m} \frac{m}{2k} \sin \sqrt{2 \frac{k}{m}} t - C_2 \sqrt{\frac{m}{2k}} \cos \sqrt{2 \frac{k}{m}} t + \frac{F}{2m} t + C_3; \\ x_2 = \int v_2 dt = \frac{F}{4k} \cos \sqrt{2 \frac{k}{m}} t - C_2 \frac{m}{2k} \sin \sqrt{2 \frac{k}{m}} t + \frac{F}{4m} t^2 + C_3 t + C_4. \quad (7)$$

Taking into account (2), (4), (6) and (7):

$$\begin{aligned}
 x_1 &= -\frac{F}{2k} \cos \sqrt{\frac{2k}{m}} t + C_2 \frac{m}{k} \sin \sqrt{\frac{2k}{m}} t + \\
 &+ \frac{F}{2k} + \frac{F}{4k} \cos \sqrt{\frac{2k}{m}} t - \\
 &- C_2 \frac{m}{2k} \sin \sqrt{\frac{2k}{m}} t + \frac{F}{4m} t^2 + C_3 t + C_4; \\
 v_1 &= \frac{dx_1}{dt} = \frac{F}{2k} \sqrt{\frac{2k}{m}} \sin \sqrt{\frac{2k}{m}} t + C_2 \sqrt{\frac{2k}{m}} \frac{m}{k} \cos \sqrt{\frac{2k}{m}} t - \\
 &- \frac{F}{4k} \sqrt{\frac{2k}{m}} \sin \sqrt{\frac{2k}{m}} t - C_2 \sqrt{\frac{2k}{m}} \frac{m}{2k} \cos \sqrt{\frac{2k}{m}} t + \frac{F}{2m} t + C_3; \\
 a_1 &= \frac{dv_1}{dt} = \frac{F}{2k} \frac{2k}{m} \cos \sqrt{\frac{2k}{m}} t - \\
 &- C_2 2 \frac{k}{m} \sin \sqrt{\frac{2k}{m}} t - \frac{F}{4k} 2 \frac{k}{m} \cos \sqrt{\frac{2k}{m}} t + \\
 &+ C_2 2 \frac{k}{m} \frac{m}{2k} \sin \sqrt{\frac{2k}{m}} t + \frac{F}{2m}; \\
 x_2(0) &= 0 = \frac{F}{4k} \cos \sqrt{\frac{2k}{m}} 0 - C_2 \frac{m}{2k} \sin \sqrt{\frac{2k}{m}} 0 + \\
 &+ \frac{F}{4m} 0^2 + C_3 0 + C_4; \\
 \frac{F}{4k} + C_4 &= 0; \quad C_4 = -\frac{F}{4k}; \\
 v_2(0) &= 0 = -C_2 \sqrt{\frac{m}{2k}} + C_3; \\
 v_1(0) &= 0 = C_2 \sqrt{\frac{2k}{m}} \frac{m}{k} - C_2 \sqrt{\frac{2k}{m}} \frac{m}{2k} + C_3 = \\
 &= C_2 \sqrt{\frac{2k}{m}} \frac{m}{2k} + C_3; \\
 \begin{cases} -C_2 \sqrt{\frac{m}{2k}} + C_3 = 0 \\ C_2 \sqrt{\frac{2k}{m}} \frac{m}{2k} + C_3 = 0 \end{cases} &; \quad C_2 = 0, \quad C_3 = 0.
 \end{aligned}$$

The final solution is:

$$\begin{aligned}
 x_1 &= -\frac{F}{4k} \cos \sqrt{\frac{2k}{m}} t + \frac{F}{4m} t^2 + \frac{F}{4k}; \\
 x_2 &= \frac{F}{4k} \cos \sqrt{\frac{2k}{m}} t + \frac{F}{4m} t^2 - \frac{F}{4k}; \\
 v_1 &= \frac{F}{2\sqrt{2km}} \sin \sqrt{\frac{2k}{m}} t + \frac{F}{2m} t; \\
 v_2 &= -\frac{F}{2\sqrt{2km}} \sin \sqrt{\frac{2k}{m}} t + \frac{F}{2m} t; \\
 a_1 &= \frac{F}{2m} \cos \sqrt{\frac{2k}{m}} t + \frac{F}{2m}; \\
 a_2 &= -\frac{F}{2m} \cos \sqrt{\frac{2k}{m}} t + \frac{F}{2m}.
 \end{aligned}$$

The characteristic time interval  $\tau_2$  (the index «2» means the number of components of the train) for the case under consideration is determined from the condition of maximum stretching of the elastic coupling. Where in:

$$a_1(\tau_2) - \frac{F}{2m} = 0 \quad \text{or} \quad \frac{F}{2m} \cos \sqrt{\frac{2k}{m}} \tau_2 = 0;$$

$$\sqrt{\frac{2k}{m}} \tau_2 = \frac{\pi}{2}; \quad \tau_2 = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{m}{2k}}.$$

For time  $\tau_2$  the locomotive will cover the distance:

$$\begin{aligned}
 x_1(\tau_2) &= -\frac{F}{4k} \cos \sqrt{\frac{2k}{m}} \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{m}{2k}} + \\
 &+ \frac{F}{4m} \frac{\pi^2}{4} \frac{m}{2k} + \frac{F}{4k} = \frac{F\pi^2}{32k} + \frac{F}{4k}
 \end{aligned}$$

and will develop the speed:

$$\begin{aligned}
 v_1(\tau_2) &= \frac{F}{2\sqrt{2km}} \sin \sqrt{\frac{2k}{m}} \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{m}{2k}} + \\
 &+ \frac{F}{2m} \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{m}{2k}} = \frac{F}{2\sqrt{2km}} + \frac{F\pi}{4\sqrt{2km}}.
 \end{aligned}$$

It is appropriate to compare these indicators with the corresponding values for a non-deformable train:

$$a = \frac{F}{2m}; \quad v = \frac{F}{2m} t; \quad x = \frac{F}{4m} t^2;$$

$$x(\tau_2) = \frac{F}{4m} \frac{\pi^2}{4} \frac{m}{2k} = \frac{F\pi^2}{32k};$$

$$v(\tau_2) = \frac{F}{2m} \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{m}{2k}} = \frac{F\pi}{4\sqrt{2km}};$$

$$\frac{x_1(\tau_2)}{x(\tau_2)} = \frac{F\pi^2/(32k) + F/(4k)}{F\pi^2/(32k)} = 1 + \frac{32}{4\pi^2} \approx 1,81;$$

$$\frac{v_1(\tau_2)}{v(\tau_2)} = \frac{F/(2\sqrt{2km}) + F\pi/(4\sqrt{2km})}{F\pi/(4\sqrt{2km})} = 1 + \frac{2}{\pi} \approx 1,64.$$

The ratio of kinetic energies of the locomotive [17] is:

$$\frac{E_1(\tau_2)}{E(\tau_2)} = 2,69.$$

The obtained ratios clearly demonstrate that the starting-off of a train with elastic couplings is much easier than that of a non-deformable one.

### Locomotive and Two Wagons

The equations of forces applied, respectively, to the locomotive and the cars are:

$$F = m \frac{d^2 x_1}{dt^2} + k(x_1 - x_2); \quad (8)$$

$$k(x_1 - x_2) = m \frac{d^2 x_2}{dt^2} + k(x_2 - x_3); \quad (9)$$

$$k(x_2 - x_3) = m \frac{d^2 x_3}{dt^2}.$$

From the latter equation it follows that:

$$x_3 = \frac{m}{k} \frac{d^2 x_2}{dt^2} + x_2. \quad (10)$$

The derivative of this expression is:

$$\frac{d^2 x_2}{dt^2} = \frac{m}{k} \frac{d^4 x_3}{dt^4} + \frac{d^2 x_3}{dt^2}.$$

Substitution of two latter expressions in (9) gives:



$$\begin{aligned}
 x_1 &= \frac{m}{k} \frac{d^2 x_2}{dt^2} + 2x_2 - x_3 = \\
 &= \frac{m^2}{k^2} \frac{d^4 x_3}{dt^4} + \frac{m}{k} \frac{d^2 x_3}{dt^2} + 2 \frac{m}{k} \frac{d^2 x_3}{dt^2} + 2x_3 - x_3 = \\
 &= \frac{m^2}{k^2} \frac{d^4 x_3}{dt^4} + 3 \frac{m}{k} \frac{d^2 x_3}{dt^2} + x_3. \quad (11)
 \end{aligned}$$

The derivative of this expression is equal to:

$$\frac{d^2 x_1}{dt^2} = \frac{m^2}{k^2} \frac{d^6 x_3}{dt^6} + 3 \frac{m}{k} \frac{d^4 x_3}{dt^4} + \frac{d^2 x_3}{dt^2}.$$

Substitution of the obtained expressions in (8) gives:

$$\begin{aligned}
 \frac{F}{k} &= \frac{m^3}{k^3} \frac{d^6 x_3}{dt^6} + 3 \frac{m^2}{k^2} \frac{d^4 x_3}{dt^4} + \frac{m}{k} \frac{d^2 x_3}{dt^2} + \\
 &+ \frac{m^2}{k^2} \frac{d^4 x_3}{dt^4} + 3 \frac{m}{k} \frac{d^2 x_3}{dt^2} + x_3 - \frac{m}{k} \frac{d^2 x_3}{dt^2} - x_3 = \\
 &= \frac{m^3}{k^3} \frac{d^6 x_3}{dt^6} + 4 \frac{m^2}{k^2} \frac{d^4 x_3}{dt^4} + 3 \frac{m}{k} \frac{d^2 x_3}{dt^2}, \\
 \frac{d^6 x_3}{dt^6} + 4 \frac{k}{m} \frac{d^4 x_3}{dt^4} + 3 \frac{k^2}{m^2} \frac{d^2 x_3}{dt^2} &= \frac{k^2 F}{m^3}. \quad (12)
 \end{aligned}$$

Let:

$$\frac{d^2 x_3}{dt^2} = z. \quad (13)$$

Then (12) is written as:

$$z''' + 4 \frac{k}{m} z' + 3 \frac{k^2}{m^2} z = \frac{k^2 F}{m^3}. \quad (14)$$

Characteristic equation:

$$r^4 + 4 \frac{k}{m} r^2 + 3 \frac{k^2}{m^2} = 0;$$

$$r_{1,2}^2 = -2 \frac{k}{m} \pm \frac{k}{m}; \quad r_1^2 = -3 \frac{k}{m};$$

$$r_2^2 = -\frac{k}{m}; \quad r_{1,2} = \pm i \sqrt{3 \frac{k}{m}}; \quad r_{3,4} = \pm i \sqrt{\frac{k}{m}}.$$

General solution of the corresponding homogeneous equation is:

$$\begin{aligned}
 z_1 &= C_1 \cos \sqrt{3 \frac{k}{m}} t + C_2 \sin \sqrt{3 \frac{k}{m}} t + \\
 &+ C_3 \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t + C_4 \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t.
 \end{aligned}$$

Particular solution has the form:

$$z_2 = A.$$

Its substitution in (14) gives:

$$3 \frac{k^2}{m^2} A = \frac{k^2 F}{m^3}; \quad A = \frac{F}{3m}.$$

General solution is found as:

$$\begin{aligned}
 z &= z_1 + z_2 = C_1 \cos \sqrt{3 \frac{k}{m}} t + C_2 \sin \sqrt{3 \frac{k}{m}} t + \\
 &+ C_3 \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t + C_4 \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t + \frac{F}{3m}. \quad (15)
 \end{aligned}$$

In accordance with (13):

$$\begin{aligned}
 v_3 &= \int z dt = C_1 \sqrt{\frac{m}{3k}} \sin \sqrt{3 \frac{k}{m}} t - C_2 \sqrt{\frac{m}{3k}} \cos \sqrt{3 \frac{k}{m}} t + \\
 &+ C_3 \sqrt{\frac{m}{k}} \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t - C_4 \sqrt{\frac{m}{k}} \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t + \frac{F}{3m} t + C_5; \quad (16)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x_3 &= \int v_3 dt = -C_1 \frac{m}{3k} \cos \sqrt{3 \frac{k}{m}} t - C_2 \frac{m}{3k} \sin \sqrt{3 \frac{k}{m}} t - \\
 &- C_3 \frac{m}{k} \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t - C_4 \frac{m}{k} \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t + \frac{F}{6m} t^2 + C_5 t + C_6. \quad (17)
 \end{aligned}$$

Taking into account (10), (13), (15) and (17):

$$\begin{aligned}
 x_2 &= \frac{m}{k} C_1 \cos \sqrt{3 \frac{k}{m}} t + \frac{m}{k} C_2 \sin \sqrt{3 \frac{k}{m}} t + \\
 &+ \frac{m}{k} C_3 \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t + \frac{m}{k} C_4 \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t + \frac{m}{k} \frac{F}{3m} t - \\
 &- C_1 \frac{m}{3k} \cos \sqrt{3 \frac{k}{m}} t - C_2 \frac{m}{3k} \sin \sqrt{3 \frac{k}{m}} t - C_3 \frac{m}{k} \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t - \\
 &- C_4 \frac{m}{k} \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t + \frac{F}{6m} t^2 + C_5 t + C_6 = \\
 &= \frac{2m}{3k} C_1 \cos \sqrt{3 \frac{k}{m}} t + \frac{2m}{3k} C_2 \sin \sqrt{3 \frac{k}{m}} t + \\
 &+ \frac{F}{3k} + \frac{F}{6m} t^2 + C_5 t + C_6; \quad (18)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 v_2 &= \frac{dx_2}{dt} = -\frac{2m}{3k} \sqrt{3 \frac{k}{m}} C_1 \sin \sqrt{3 \frac{k}{m}} t + \\
 &+ \frac{2m}{3k} \sqrt{\frac{3k}{m}} C_2 \cos \sqrt{3 \frac{k}{m}} t + \frac{F}{3m} t + C_5 = \\
 &= -\frac{2}{3} \sqrt{\frac{3m}{k}} C_1 \sin \sqrt{3 \frac{k}{m}} t + \\
 &+ \frac{2}{3} \sqrt{\frac{3m}{k}} C_2 \cos \sqrt{3 \frac{k}{m}} t + \frac{F}{3m} t + C_5; \quad (19)
 \end{aligned}$$

$$a_2 = \frac{dv_2}{dt} = -2C_1 \cos \sqrt{3 \frac{k}{m}} t - 2C_2 \sin \sqrt{3 \frac{k}{m}} t + \frac{F}{3m}. \quad (20)$$

Taking into account (11), (17), (18) and (20):

$$\begin{aligned}
 x_1 &= -2C_1 \frac{m}{k} \cos \sqrt{3 \frac{k}{m}} t - 2C_2 \frac{m}{k} \sin \sqrt{3 \frac{k}{m}} t + \frac{F}{3m} \frac{m}{k} + \\
 &+ 2 \frac{2m}{3k} C_1 \cos \sqrt{3 \frac{k}{m}} t + 2 \frac{2m}{3k} C_2 \sin \sqrt{3 \frac{k}{m}} t + \\
 &+ \frac{2F}{3k} + \frac{2F}{6m} t^2 + 2C_5 t + 2C_6 + \\
 &+ C_1 \frac{m}{3k} \cos \sqrt{3 \frac{k}{m}} t + C_2 \frac{m}{3k} \sin \sqrt{3 \frac{k}{m}} t + C_3 \frac{m}{k} \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t + \\
 &+ C_4 \frac{m}{k} \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t - \frac{F}{6m} t^2 - C_5 t - C_6 = \\
 &= -C_1 \frac{m}{3k} \cos \sqrt{3 \frac{k}{m}} t - C_2 \frac{m}{3k} \sin \sqrt{3 \frac{k}{m}} t + C_3 \frac{m}{k} \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t + \\
 &+ C_4 \frac{m}{k} \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t + \frac{F}{k} + \frac{F}{6m} t^2 + C_5 t + C_6;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 v_1 &= \frac{dx_1}{dt} = C_1 \sqrt{\frac{m}{3k}} \sin \sqrt{3 \frac{k}{m}} t - \\
 &- C_2 \sqrt{\frac{m}{3k}} \cos \sqrt{3 \frac{k}{m}} t - C_3 \sqrt{\frac{m}{k}} \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t + \\
 &+ C_4 \sqrt{\frac{m}{k}} \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t + \frac{F}{3m} t + C_5; \quad (21)
 \end{aligned}$$

$$a_1 = C_1 \cos \sqrt{3 \frac{k}{m}} t - C_3 \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t + \frac{F}{3m}.$$

In accordance with (20):

$$a_2(0) = -2C_1 + \frac{F}{3m} = 0; \quad C_1 = \frac{F}{6m}.$$

**Table 1**

Number of train sections	$\frac{x_1(\tau)}{x(\tau)}$	$\frac{v_1(\tau)}{v(\tau)}$	$\frac{E_1(\tau)}{E(\tau)}$
2	1,81	1,64	2,69
3	2,6	2,22	4,93

In accordance with (15):

$$z(0) = 0 = \frac{F}{6m} + C_3 + \frac{F}{3m}; \quad C_3 = -\frac{F}{2m}.$$

In accordance with (18):

$$x_2(0) = \frac{2m}{3k}C_1 + \frac{F}{3k} + C_6 = 0;$$

$$\frac{F}{9k} + \frac{F}{3k} + C_6 = 0; \quad C_6 = -\frac{4F}{9k}.$$

In accordance with (16), (19) and (21):

$$v_1(0) = -C_2\sqrt{\frac{m}{3k}} + C_4\sqrt{\frac{m}{k}} + C_5 = 0;$$

$$v_3(0) = -C_2\sqrt{\frac{m}{3k}} - C_4\sqrt{\frac{m}{k}} + C_5 = 0, \quad C_4 = 0;$$

$$v_2(0) = \frac{2}{3}\sqrt{\frac{3m}{k}}C_2 + C_5 = 0; \quad C_2 = 0; \quad C_5 = 0.$$

Final solution is:

$$x_1 = -\frac{F}{18k}\cos\sqrt{\frac{3k}{m}}t - \frac{F}{2k}\cos\sqrt{\frac{k}{m}}t + \frac{F}{6m}t^2 + \frac{5F}{9k};$$

$$x_2 = \frac{F}{9k}\cos\sqrt{\frac{3k}{m}}t + \frac{F}{6m}t^2 - \frac{F}{9k};$$

$$x_3 = -\frac{F}{18k}\cos\sqrt{\frac{3k}{m}}t + \frac{F}{2k}\cos\sqrt{\frac{k}{m}}t + \frac{F}{6m}t^2 - \frac{4F}{9k};$$

$$v_1 = \frac{F}{6\sqrt{3km}}\sin\sqrt{\frac{3k}{m}}t + \frac{F}{2\sqrt{km}}\sin\sqrt{\frac{k}{m}}t + \frac{F}{3m}t;$$

$$v_2 = -\frac{F}{3\sqrt{3km}}\sin\sqrt{\frac{3k}{m}}t + \frac{F}{3m}t;$$

$$v_3 = \frac{F}{6\sqrt{3km}}\sin\sqrt{\frac{3k}{m}}t - \frac{F}{2\sqrt{km}}\sin\sqrt{\frac{k}{m}}t + \frac{F}{3m}t;$$

$$a_1 = \frac{F}{6m}\cos\sqrt{\frac{3k}{m}}t + \frac{F}{2m}\cos\sqrt{\frac{k}{m}}t + \frac{F}{3m};$$

$$a_2 = -\frac{F}{3m}\cos\sqrt{\frac{3k}{m}}t + \frac{F}{3m};$$

$$a_3 = \frac{F}{6m}\cos\sqrt{\frac{3k}{m}}t - \frac{F}{2m}\cos\sqrt{\frac{k}{m}}t + \frac{F}{3m}.$$

The characteristic time interval  $\tau_3$  for the case under consideration is determined from the condition of maximum tension of the elastic coupling.

Thus:

$$a_1(\tau_3) - \frac{F}{3m} = 0 \quad \text{or} \quad \frac{F}{6m}\cos\sqrt{\frac{3k}{m}}\tau_3 + \frac{F}{2m}\cos\sqrt{\frac{k}{m}}\tau_3 = 0;$$

$$\frac{1}{3}\cos\sqrt{3}\sqrt{\frac{k}{m}}\tau_3 + \cos\sqrt{\frac{k}{m}}\tau_3 = 0.$$

Solution of the latter equation has the form:

$$\sqrt{\frac{k}{m}}\tau_3 = 0,427\pi; \quad \tau_3 = 0,427\pi\sqrt{\frac{m}{k}}.$$

For time  $\tau_3$ , the locomotive will cover the distance:

$$x_1(\tau_3) = -\frac{F}{18k}\cos\sqrt{\frac{3k}{m}} \cdot 0,427\pi\sqrt{\frac{m}{k}} -$$

$$-\frac{F}{2k}\cos\sqrt{\frac{k}{m}} \cdot 0,427\pi\sqrt{\frac{m}{k}} +$$

$$+\frac{F}{6m}\left(0,427\pi\sqrt{\frac{m}{k}}\right)^2 + \frac{5F}{9k} =$$

$$= \frac{F}{k} \left[ -\frac{1}{18}\cos\sqrt{3} \cdot 0,427\pi - \right. \\ \left. -\frac{1}{2}\cos 0,427\pi + \frac{1}{6}(0,427\pi)^2 + \frac{5}{9} \right] =$$

$$= \frac{F}{k} \left[ -\frac{1}{18}\cos\sqrt{3} \cdot 0,427\pi - \right. \\ \left. -\frac{1}{2}\cos 0,427\pi + \frac{1}{6}(0,427\pi)^2 + \frac{5}{9} \right] = 0,78 \frac{F}{k}$$

and will develop speed:

$$v_1(\tau_3) = \frac{F}{6\sqrt{3km}}\sin\sqrt{\frac{3k}{m}} \cdot 0,427\pi\sqrt{\frac{m}{k}} +$$

$$+\frac{F}{2\sqrt{km}}\sin\sqrt{\frac{k}{m}} \cdot 0,427\pi\sqrt{\frac{m}{k}} + \frac{F}{3m} \cdot 0,427\pi\sqrt{\frac{m}{k}} =$$

$$= \frac{F}{\sqrt{km}} \left( \frac{1}{6\sqrt{3}}\sin\sqrt{3} \cdot 0,427\pi + \right. \\ \left. + \frac{1}{2}\sin 0,427\pi + \frac{1}{3}0,427\pi \right) = \frac{F}{\sqrt{km}}.$$

It is appropriate to compare these indicators with the corresponding values for a non-deformable train:

$$a = \frac{F}{3m}; \quad v = \frac{F}{3m}t; \quad x = \frac{F}{6m}t^2;$$

$$x(\tau_3) = \frac{F}{6m}\left(0,427\pi\sqrt{\frac{m}{k}}\right)^2 = 0,3\frac{F}{k};$$

$$v(\tau_3) = \frac{F}{3m} \cdot 0,427\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 0,45\frac{F}{\sqrt{mk}};$$

$$\frac{x_1(\tau_3)}{x(\tau_3)} = 2,6;$$

$$\frac{v_1(\tau_3)}{v(\tau_3)} = 2,22.$$

The ratio of kinetic energies for the locomotive is:

$$\frac{E_1(\tau_3)}{E(\tau_3)} = 4,93.$$

## CONCLUSIONS

The use of elastically deformable couplings solves the problem of starting a heavy train.

Table 1 summarises displacements, speeds and kinetic energies of the locomotive for the moments of maximum tension of the elastic coupling, referred to corresponding parameters of the non-deformable train.



The obtained ratios clearly demonstrate that the starting-off of a train with elastic couplings is much easier than that of a non-deformable one. Moreover, the greater is the number of wagons, the greater is the advantage of the former over the latter.

The softening of the train start-off mode is essentially due to replacement of simultaneous start-off of sections by alternate start-off. This process is described above for inertial forces. Regarding the static friction force, the mechanism will be similar, i. e., not all static friction force is overcome at the same time, but its small parts are overcome one by one.

The expressions obtained for displacements, speeds and accelerations of the locomotive and wagons have harmonic components. To exclude longitudinal vibrations of the train, after reaching the maximum tension of the coupling, it is necessary to mechanically block the possibility of its harmonic compression with subsequent sampling of elastic deformation, for example, using damping devices.

## REFERENCES

1. Popov, I. P. Inertial Capacitive Energy Storage Device for a Shunting Diesel Locomotive. *World of Transport and Transportation*, 2019, Vol. 17, Iss. 3 (82), pp. 82–87. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-3-82-87>.
2. Mitin, E. V., Suldin, S. P., Kalyakulin, S. Yu. Strength calculation of a general-purpose light trailer in starting and turning modes [*Raschet na prochnost legkovogo pritsepa obshchego naznacheniya v rezhimakh troganiya s mesta i povorota*]. *Avtomobilnaya promyshlennost'*, 2019, Iss. 3, pp. 33–36.
3. Koblov, R. V., Egorov, P. E., Novachuk, Ya. A. New Perusal of Locomotive Traction Force Formation Mechanism. *World of Transport and Transportation*, 2016, Vol. 14, Iss. 5 (66), pp. 6–18. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1047/1323>. Last accessed 25.12.2020.
4. Cherepanov, L. A., Tarasov, D. A. Investigation of the clutch operation when starting the car from a place [*Issledovanie raboty stsepeniya pri troganii avtomobilya s mesta*]. *Transportnie sistemy*, 2020, Iss. 2 (16), pp. 10–15. DOI: 10.46960/62045\_2020\_2\_10.
5. Novoseltsev, P. V., Gordeeva, A. A., Kuptsov, Yu. A. Experiment with Sliding of Locomotive Wheel Sets. *World of Transport and Transportation*, 2017, Vol. 15, Iss. 3 (70), pp. 104–110. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/download/1218/1494>. Last accessed 25.12.2020.
6. Kononov, P. Yu., Bulavin, Yu. P., Volkov, I. V. Improvement of anti-skid properties of transport machines based on modernization of the pneumatic drive of the sand system [*Uluchshenie protivobuksovochnykh svoystv transportnykh mashin na osnove modernizatsii pnevmoprivoda pesochnoi sistemy*]. *Bulletin of Rostov State Transport University*, 2021, Iss. 1 (81), pp. 8–19. DOI: 10.46973/0201-727X\_2021\_1\_8.
7. Demin, V. A. Topical Tasks of the Development of Transport and Logistics Systems. *World of Transport and Transportation*, 2018, Vol. 16, Iss. 6 (79), pp. 14–19. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1543>. Last accessed 25.12.2020.
8. Shimanovskiy, A. O., Sakharov, P. A. Influence of clearances in automatic couplers on longitudinal forces in interwagon connections of a homogeneous train [*Vliyaniye zazorov v avtostsepykhk ustroystvakh na prodolnie sily v mezhvagonnykh soedineniyakh odnorodnogo poezda*]. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov*, 2019, Iss. 2 (47), pp. 42–50.
9. Krasnov, O. G. Technique to Determine Integral Distribution of Forces Acting on the Railway Track. *World of Transport and Transportation*, 2019, Vol. 17, Iss. 4 (83), pp. 6–21. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-4-6-21>.
10. Upry, R. Yu., Davydova, N. V., Khurelbaatar, Ts. The emergence and assessment of dynamic interaction of cargo and car [*Vozniknovenie i otsenka dinamicheskogo vzaimodeystviya gruzha i vagona*]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovaniye*, 2018, Iss. 1 (57), pp. 8–15. DOI: 10.26731/1813-9108.2018.1(57).8–15.
11. Huo, Junzhou; Wu, Hanyang; Zhu, Dong; Sun, Wei; Wang, Liping; Dong, Jianghui. The rigid-flexible coupling dynamic model and response analysis of bearing-wheel-rail system under track irregularity. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, December 2017, Vol. 232 (21), pp. 095440621774533. DOI: 10.1177/0954406217745336.
12. Lu, Yao-hui; Zeng, Jing; Wu, Ping-bo; Guan, Qing-hua. Modeling of Rigid-Flexible Coupling System Dynamics for Railway Vehicles with Flexible Bogie Frame. 2009 Fourth International Conference on Innovative Computing, Information and Management (ICICIM), 07 December 2014. DOI: 10.1109/ICICIM.2009.265
13. Ling, Liang; Xiao, Xinbiao; Xiong, Jia-yang; Zhou, Li; Wen, Ze; Jin, Xue-song. A 3D Model for Coupling Dynamics Analysis of High-Speed Train/Track System. In book: *China's High-Speed Rail Technology*, 2018, pp. 309–339. DOI: 10.1007/978-981-10-5610-9\_18.
14. Pudovikov, O. E., Murov, S. A. Simulation of regulating braking mode of long train. *World of Transport and Transportation*, 2015, Vol. 13, Iss. 2 (57), pp. 28–33. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/262/473>. Last accessed 25.12.2020.
15. Popov, I. P. Application of a symbolic (complex) method for calculating complex mechanical systems under harmonic influences [*Primenenie simvolicheskogo (kompleksnogo) metoda dlya rascheta slozhnykh mekhanicheskikh sistem pri garmonicheskikh vozdeystviyakh*]. *Prikladnaya fizika i matematika*, 2019, Iss. 4, pp. 14–24. DOI: 10.25791/pfim.04.2019.828.
16. Popov, I. P. Differential equations of two mechanical resonances [*Differentsialnie uravneniya dvukh mekhanicheskikh rezonansov*]. *Prikladnaya fizika i matematika*, 2019, Iss. 2, pp. 37–40. DOI: 10.25791/pfim.02.2019.599.
17. Popov, I. P. Conditionally orthogonal mechanical power [*Uslovno-ortogonalnie mekhanicheskie moshchnosti*]. *Oboronnyy kompleks – nauchno-tekhnicheskomu progressu Rossii*, 2019, Iss. 4 (144), pp. 15–17. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41450991>. Last accessed 25.12.2020.

### Information about the author:

**Popov, Igor P.**, Senior Lecturer at the Department of Mechanical Engineering Technology, Metal-Cutting Machines and Tools of Kurgan State University, Kurgan, Russia, [ip.popov@yandex.ru](mailto:ip.popov@yandex.ru).

Article received 10.01.2021, approved 21.04.2021, accepted 23.04.2021.



# Mathematical Modelling of Tank Wagon Vibrations Considering Partially Filling of the Tank with Liquid Cargo



Pavel S. GRIGORIEV



Sergey N. KORZHIN



Sherzod R. IBODULLOEV



Phu Thuan TRAN

*Pavel S. Grigoriev<sup>1</sup>, Sergey N. Korzhin<sup>2</sup>, Sherzod R. Ibodulloev<sup>3</sup>, Phu Thuan Tran<sup>4</sup>*

<sup>1,2</sup> Russian University of Transport, Moscow, Russia.

<sup>3</sup> National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Tashkent, Uzbekistan.

<sup>4</sup> Society of Vietnamese Citizens in the Russian Federation, Ho Chi Minh City, Vietnam.

✉ <sup>1</sup> [grigorev.p@gmail.com](mailto:grigorev.p@gmail.com).

## ABSTRACT

Mathematical modelling of processes of motion makes it possible to assess the dynamic characteristics of a wagon at the stage of its design. However, it is necessary to consider the type of cargo transported, the movement of which affects the values of these features.

The paper considers a mathematical model of an eight-axle railway tank wagon developed using the Lagrange's equation of the second kind. The considered mathematical model suggests an approach based on the consideration of the influence of the energy of a liquid cargo in a steady state of motion. This influence was considered by evaluating the kinetic and potential energies of vibrations of the transported liquid cargo.

Differential equations of vibration compiled for the model under consideration represent the liquid cargo as a solid. The approach

for considering the effect of liquid cargo during vibrations of a tank wagon assumes that the total volume of the displaced liquid approximately corresponds to the volume of the layer of the fluid determined by displacement of bouncing, or in the case of galloping, with an angular displacement of one end section of the tank wagon, the second section rises by the same value, in other words, we observe the system of communicating vessels. Based on these assumptions, energy additions are obtained that consider movement of a liquid cargo under steady-state modes of motion.

According to the proposed approach, preliminary calculations were performed, and the results obtained were assessed. The results obtained showed satisfactory convergence with the calculations carried out using other approaches to modelling of the processes of movement of railway tank wagons.

**Keywords:** transport, tank wagon, dynamic properties, liquid cargo vibrations, eight-axle tank wagon, loading, barrel.

**For citation:** Grigoriev, P. S., Korzhin, S. N., Ibodulloev, Sh. R., Tran, P. T. Mathematical Modelling of Tank Wagon Vibrations Considering Partially Filling of the Tank with Liquid Cargo. *World of Transport and Transportation*, 2021, Vol. 19, Iss. 2 (93), pp. 167–172. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-4>.

**The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.  
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.**

**INTRODUCTION**

While modelling the processes of rolling stock movement along a railway track, researchers are interested in indicators of dynamic properties (dynamic coefficients, dynamic forces of various directions, acceleration, movement of structural elements) [1; 2], the values of which are ultimately determined by the values of kinetic and potential energies and by their ratios during operation of the system.

Given this circumstance, we can say that if studying the processes of movement of a wagon with a liquid cargo with a mathematical model, it becomes possible to reflect with relative success the energy indicators of moving masses of liquid, then as a result, it will be possible to create an optimised simplified model reflecting the effect of a liquid cargo on the indicators of smoothness at steady state of motion [3]. The solution to this problem would allow to obtain assessment of the ride performance and loading of the cargo tank for any transport units associated with transportation of liquid cargo. The *objective* of the work is to solve this problem by creating an optimised simplified model reflecting the effect of a liquid cargo on the indicators of smoothness at steady state of motion regarding railway tank wagons.

**MATERIALS AND METHODS**

It should be noted that, as a rule, when developing mathematical models of oscillations of tank wagons, the transported cargo is considered as a solid body [4; 5]. However, as noted above, the transported cargo affects the indicators of the dynamic properties of the considered models of tank wagons. Thus, it is necessary to use computational approaches that

consider the energy contribution of the liquid cargo to the overall system.

The works [6–9] estimate the influence of a liquid cargo during transient modes of operation, where the description of flow of fluid is carried out by equations of continuum mechanics. Consideration of the influence of liquid cargo in modern software systems is carried out by solving the problems of hydrodynamics [10; 11] or using pendulum analogy [12–14].

In the proposed work, the technique is based on the assumptions that the tank shell is absolutely rigid, and the structure is symmetrical with respect to the longitudinal and transverse planes. The tank has a circular cylindrical shape. The origin of coordinates coincides with the centre of the middle cross section. The longitudinal  $X$  axis is directed along the cylinder axis, the  $Y$  transverse axis coincides with the horizontal diameter of the middle cross section, and the vertical  $Z$  is directed along the vertical diameter of the middle cross section.

The generated models are fundamentally based on the law of conservation of energy, i.e., transformation of kinetic energy, associated with the speed of the wave, into potential energy, specified by the height of the wave.

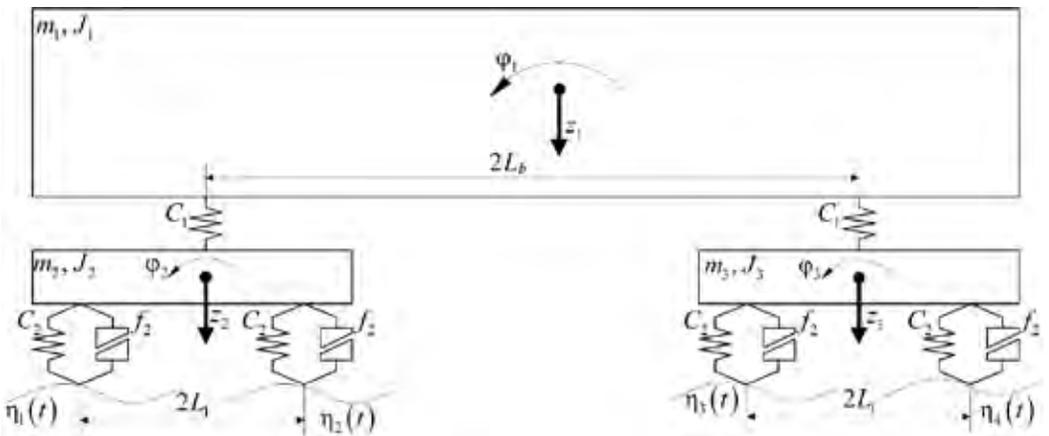
The development of mathematical models is carried out using the Lagrange’s equation of the second kind [15], which for the problem under consideration will get the form:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T_{\Sigma}}{\partial \dot{q}_i} + \frac{\partial P_{\Sigma}}{\partial q_i} = 0, \tag{1}$$

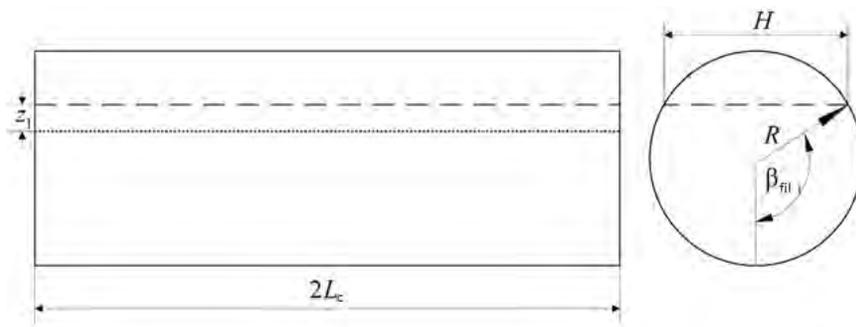
where  $q_i$  is generalised coordinate,

$T_{\Sigma}$  – kinetic energy of the system,

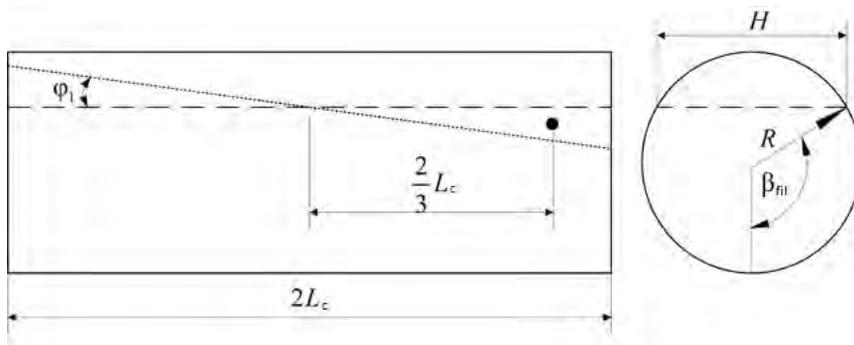
$P_{\Sigma}$  – potential energy of the system.



Pic. 1. Design scheme for determining oscillations of a tank wagon (developed by the authors).



Pic. 2. Design scheme for determining the energy additions due to vibrations of the liquid load during oscillation of bouncing (developed by the authors).



Pic. 3. Design scheme for determining the energy additions due to vibrations of the liquid cargo during galloping oscillations (developed by the authors).

## RESULTS

### System of Differential Equations

As a design model, we will consider a conditional model of an eight-axle railway tank wagon.

In this work, we use the following designations:

$m_1$  – gross mass of the tank;  
 $J_1$  – moment of inertia of the tank;  
 $m_{2,3}$  – mass of the connection beam;  
 $J_{2,3}$  – moment of inertia of the connection beam;

$C_1$  – vertical stiffness of the connection beam;  
 $C_2$  – vertical stiffness of the spring suspension set;

$f_2$  – coefficient of dry friction of the friction vibration damper;

$2L_b$  – tank base;

$2L_c$  – length of the cylindrical part of the tank;

$2L_l$  – bogie base;

$\eta_{1,2,3,4(t)}$  – function of unevenness of the track under the corresponding bogie;

$z_1$  – vertical displacement of the centre of mass of the tank;

$\phi_1$  – angle of rotation of the tank relative to the transverse axis  $Y$ ;

$z_{2,3}$  – vertical displacement of the centre of mass of the connection beam;

$\phi_2$  – angle of rotation of the connection beam relative to the transverse axis  $Y$ ;

$\rho_l$  – density of the mass of the transported liquid cargo;

$g$  – acceleration of gravity;

$\beta_{fil}$  – angle of filling with the liquid cargo;

$R$  – radius of the tank;

$H$  – linear area of the free surface of the liquid in the transverse direction, defined as  $H = 2\sin\beta_{fil}$ .

For the scheme shown in Pic. 1, the system of differential equations will look like this:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{z}_1 + C_1(2z_1 - z_2 - z_3) = 0 \\ J_1 \ddot{\phi}_1 + C_1 L_b (2\phi_1 L_b - z_2 + z_3) = 0 \\ m_2 \ddot{z}_2 + C_1(-z_1 - \phi_1 L_b + z_2) + \\ + C_2(1 + f_{tr} \text{sign}(\Delta_3, \dot{\Delta}_3))(2z_2 - \eta_1(t) - \eta_2(t)) = 0 \\ J_2 \ddot{\phi}_2 + C_2(1 + f_{tr} \text{sign}(\Delta_4, \dot{\Delta}_4))(2\phi_2 L_1 - \eta_1(t) - \eta_2(t)) = 0 \\ m_3 \ddot{z}_3 + C_1(-z_1 + \phi_1 L_b + z_3) + \\ + C_2(1 + f_{tr} \text{sign}(\Delta_5, \dot{\Delta}_5))(2z_3 - \eta_3(t) - \eta_4(t)) = 0 \\ J_2 \ddot{\phi}_3 + C_2(1 + f_{tr} \text{sign}(\Delta_6, \dot{\Delta}_6))(2\phi_3 L_1 - \eta_3(t) - \eta_4(t)) = 0 \end{cases} \quad (2)$$



where  $\Delta_{3,5} = 2z_{2,3} - \eta_{1,3}(t) - \eta_{2,3}(t)$ ,

$$\dot{\Delta}_{3,5} = 2\dot{z}_{2,3} - \dot{\eta}_{1,3}(t) - \dot{\eta}_{2,3}(t),$$

$$\Delta_{4,6} = 2\phi_{2,3}L_1 - \eta_{1,3}(t) - \eta_{2,4}(t),$$

$$\dot{\Delta}_{4,6} = 2\dot{\phi}_{2,3}L_1 - \dot{\eta}_{1,3}(t) - \dot{\eta}_{2,4}(t),$$

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} 1 & \text{when } x \geq 0 \\ -1 & \text{when } x < 0 \end{cases} - \text{discontinuous function}$$

denoting sign change.

In the given system of differential equations (2), the transported liquid cargo is perceived as a solid. Naturally, the values of the kinetic and potential energies of the wave motion of the fluid surface depend on the height of the waves arising on the free surface of the liquid cargo. When simulating oscillations of the free surface of a liquid in problems, it is possible to introduce the assumption that the total volume of the moving liquid approximately corresponds to the volume of the layer of fluid determined by the bouncing displacement, i.e., by the value  $z_j$  (Pic. 2). This assumption can be substantiated by the fact that the volume of the wave lifted above the layer in state of rest is equal to the volume of the wave under this layer. Thus, the presented model additionally introduces the contributions of the kinetic  $T_1$  and potential  $P_1$  energies of the liquid cargo moving due to the vibrations of the tank.

Let's determine the volume and mass of the liquid cargo captured because of bouncing oscillations. We will assume that this level corresponds to the level of displacement of the tank  $z_1$ . Then the volume of this mass will be equal to:

$$V_1 = 2R \sin \beta_{\text{in}} 2L_c z_1.$$

Then the kinetic  $T_{\text{vert}}$  and potential  $P_{\text{vert}}$  energies will be determined as:

$$T_{\text{vert}} = \frac{\rho_1 2R \sin \beta_{\text{in}} 2L_c z_1}{2} \dot{z}_1^2, \quad (3)$$

$$P_{\text{vert}} = \rho_1 2R \sin \beta_{\text{in}} 2L_c z_1 g z_1.$$

Substituting expressions (3) into equation (1), we obtain expressions for substitution into the initial system of differential equations (2):

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial^2 T_{\text{vert}}}{\partial \dot{z}_1^2} = 4\rho_1 R \sin \beta_{\text{in}} L_c (\ddot{z}_1 + z_1 \ddot{z}_1); \quad (4)$$

$$\frac{\partial P_{\text{vert}}}{\partial z_1} = 8\rho_1 R \sin \beta_{\text{in}} g L_c z_1.$$

Let's consider angular oscillations. With angular vibrations, we observe the model of communicating vessels, i.e., with an angular

displacement of one end section of the tank (for example, downward), the second section rises by the same value. And at the same time, there is obviously a displacement of the volume of the liquid. With angular vibrations, the volume of the liquid situated to the left of the middle section should be equal to the volume of the liquid situated to the right.

Let's find the volume of liquid  $V_{\text{lang}}$  and speed of movement of the centre of mass  $v_{\text{ct}}$ , changing due to angular oscillations of the tank

$$V_{\text{lang}} = L_c^2 R \sin \beta_{\text{in}} \phi_1; \quad v_{\text{ct}} = \frac{2}{3} L_c \dot{\phi}_1. \quad (5)$$

Taking this into account, the kinetic  $T_{\text{lang}}$  and potential  $P_{\text{lang}}$  energies of the flowing liquid will be determined as:

$$T_{\text{lang}} = \frac{4}{9} \rho_1 L_c^4 R \sin \beta_{\text{in}} \phi_1 \dot{\phi}_1; \quad (6)$$

$$P_{\text{lang}} = \frac{4}{3} L_c^3 \rho_1 R \sin \beta_{\text{in}} g \phi_1^2.$$

Substituting expressions (6) into equation (1), we obtain expressions for substitution into the initial system of differential equations (2):

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial^2 T_1}{\partial \dot{\phi}_1^2} = \frac{8}{9} \rho_1 L_c^4 R \sin \beta_{\text{in}} (\dot{\phi}_1^2 + \phi_1 \ddot{\phi}_1); \quad (7)$$

$$\frac{\partial P_1}{\partial \phi_1} = \frac{8}{3} L_c^3 \rho_1 R \sin \beta_{\text{in}} g \phi_1.$$

Besides vertical displacement of the centre of mass of the flowing liquid, it is necessary to consider its horizontal displacement. Using the reasoning described above, we obtain the values of the kinetic  $T_{\text{hor}}$  and potential  $P_{\text{hor}}$  energies of the horizontal displacement of the centre of the mass of the flowing liquid cargo:

$$T_{\text{hor}} = 2 \frac{\rho_1 L_c^2 R \sin \beta_{\text{in}} \phi_1}{2} \left( \frac{2}{3} R \cos \beta_{\text{in}} \dot{\phi}_1 \right)^2; \quad (8)$$

$$P_{\text{hor}} = 2\rho_1 L_c^2 R \sin \beta_{\text{in}} \phi_1 g \frac{2}{3} R \cos \beta_{\text{in}} \phi_1.$$

Substituting expressions (8) into equation (1), we obtain expressions for inclusion in the initial system of differential equations (2):

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial^2 T_1}{\partial \dot{\phi}_1^2} = \frac{8}{9} \rho_1 L_c^2 R^3 \sin \beta_{\text{in}} \cos^2 \beta_{\text{in}} (\dot{\phi}_1^2 + \phi_1 \ddot{\phi}_1); \quad (9)$$

$$\frac{\partial P_1}{\partial \phi_1} = \frac{8}{3} L_c^2 \rho_1 R^2 \sin \beta_{\text{in}} \cos \beta_{\text{in}} g \phi_1.$$

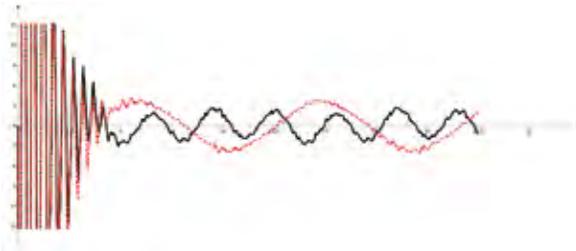
Thus, substituting expressions (4), (7) and (9) into the expression, we obtain a general system of differential equations for the oscillations of the shell of the tank considering the dynamics of the liquid cargo (10).

Table 1

Coefficients of vertical dynamics (authors' calculations)

Speed, km/h	Rate of loading of the tank with the liquid cargo							
	95 %		80 %		70 %		50 %	
	$k_{d1}$	$k_{d2}$	$k_{d1}$	$k_{d2}$	$k_{d1}$	$k_{d2}$	$k_{d1}$	$k_{d2}$
20	0,003	0,004	0,006	0,004	0,012	0,004	0,022	0,004
40	0,014	0,017	0,01	0,017	0,015	0,017	0,017	0,016
60	0,041	0,045	0,033	0,041	0,033	0,046	0,029	0,042
80	0,124	0,132	0,1	0,124	0,087	0,126	0,079	0,131
100	0,26	0,287	0,217	0,279	0,22	0,27	0,197	0,264

$k_{d1}$  – coefficient of vertical dynamics considering oscillations of the liquid cargo.  
 $k_{d2}$  – coefficient of vertical dynamics without considering oscillations of the liquid cargo.



Pic. 4. An example of a graph of changes in the forces acting on the seats of the tank: black lines denote changes in forces without considering movement of the liquid cargo, red lines (italics) show changes in the forces on the seats of the tank considering movement of the liquid cargo (developed by the authors).

$$\begin{cases}
 m_1 \ddot{z}_1 + C_1(2z_1 - z_2 - z_3) + 4\rho_1 R \sin \beta_{in} L_c (\dot{z}_1^2 + z_1 \ddot{z}_1) + \\
 + 8\rho_1 R \sin \beta_{in} g L_c z_1 = 0 \\
 J_1 \ddot{\phi}_1 + C_1 L_b (2\phi_1 L_b - z_2 + z_3) + \\
 + \frac{8}{9} \rho_1 L_c^4 R \sin \beta_{in} (\dot{\phi}_1^2 + \phi_1 \ddot{\phi}_1) + \\
 + \frac{8}{3} L_c^3 \rho_1 R \sin \beta_{in} g \phi_1^2 + \\
 + \frac{8}{9} \rho_1 L_c^2 R^3 \sin \beta_{in} \cos^2 \beta_{in} (\dot{\phi}_1^2 + \phi_1 \ddot{\phi}_1) + \\
 + \frac{8}{3} L_c^2 \rho_1 R^2 \sin \beta_{in} \cos \beta_{in} g \phi_1 = 0 \\
 m_2 \ddot{z}_2 + C_1(-z_1 - \phi_1 L_b + z_2) + \\
 + C_2(1 + f_{tr} \text{sign}(\Delta_3, \dot{\Delta}_3))(2z_2 - \eta_1(t) - \eta_2(t)) = 0 \\
 J_2 \ddot{\phi}_2 + C_2(1 + f_{tr} \text{sign}(\Delta_4, \dot{\Delta}_4)) \cdot \\
 \cdot (2\phi_2 L_1 - \eta_1(t) - \eta_2(t)) = 0 \\
 m_3 \ddot{z}_3 + C_1(-z_1 + \phi_1 L_b + z_3) + \\
 + C_2(1 + f_{tr} \text{sign}(\Delta_5, \dot{\Delta}_5))(2z_3 - \eta_3(t) - \eta_4(t)) = 0 \\
 J_3 \ddot{\phi}_3 + C_2(1 + f_{tr} \text{sign}(\Delta_6, \dot{\Delta}_6)) \cdot \\
 \cdot (2\phi_3 L_1 - \eta_3(t) - \eta_4(t)) = 0.
 \end{cases} \tag{10}$$

$$\eta(t) = b_1 \sin\left(\frac{\pi v}{L_r} t\right) + b_2 \sin\left(\frac{3\pi v}{L_r} t\right).$$

Numerical integration of the system of differential equations allowed to obtain the values of the forces on the tank seats.

Pic. 4 shows an example of a graph constructed for the case of a car moving at a speed of 20 km/h with a tank filled at 80 % of its capacity. The graph shows that under steady-state modes of motion, the amplitude of forces, considering movement of the liquid cargo, has increased by about 60 %, and the period of oscillations has also increased threefold.

**DISCUSSION**

Some results of the numerical implementation of the proposed approach are shown in Pic. 4 and Table 1. The results obtained are in good agreement with the results obtained by the method of mathematical modelling using the Universal Mechanism software package [12; 13]. It should be noted that at low speeds of movement and, consequently, with low frequencies of disturbing influence, the impact of the liquid cargo is maximal. This is quite well traced from the results presented in Table 1. Particularly, at the speed of 20 km/h and with the tank filled at 50 % of its capacity, a significant impact of liquid cargo is noticeable.

**SOLUTION**

The system of differential equations (10) was solved by the numerical Runge–Kutta method in the MathCad software environment [16]. The roughness approximating function proposed in the literature [4] served to denote the track roughness:



Verification of the obtained solutions regarding various initial data showed satisfactory convergence of the results with the results obtained using other approaches.

## CONCLUSIONS

The proposed approach has allowed to develop the system of differential equations. The system of equations is non-linear. Due to the complexity of obtaining an analytical solution of this system, a numerical method was applied to solve the Runge–Kutta differential equations of the 4<sup>th</sup> order.

This approach makes it possible to assess the impact of liquid cargo transported in railway tank wagons, e.g., to determine the effect of the level of tank loading with a liquid cargo on the dynamic properties for different parameters of the tank and the elastic elements of the entire wagon.

## REFERENCES

- Bogomaz, G. I. Dynamics of railway tank wagons [*Dinamika zheleznodorozhnykh vagonov-tsistern*]. Kiev, Naukova Dumka publ., 2004, 223 p. [Electronic resource]: [https://www.studmed.ru/bogomaz-g-i-dinamika-zheleznodorozhnykh-vagonov-cistern\\_741466e810b.html](https://www.studmed.ru/bogomaz-g-i-dinamika-zheleznodorozhnykh-vagonov-cistern_741466e810b.html). Last accessed 19.02.2021.
- Cherkashin, Yu. M. Dynamics of a bulk train [*Dinamika nalivnogo poezda*]. *Proceedings of TsNII MPS*, Moscow, Transport publ., 1975, Iss. 543, 136 p.
- Sergeev, K. A., Grigoriev, P. S., Kozlov, M. P., Suvorova, K. E. Stress-strain state of the cylindrical shell of the tank during oscillations on periodic irregularities of the track [*Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie tsilindricheskoj obolochki kotla tsisterny pri kolebaniyakh na periodicheskoj nerovnosti puti*]. *Nauka i tekhnika transporta*, 2020, pp. 66–70. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42854183>. Last accessed 19.02.2021.
- Vershinsky, S. V., Danilov, V. N., Khusidov, V. D. Dynamics of the wagon: Textbook for higher educational institutions of railway transport [*Dinamika vagona: Uchebnik dlya vuzov zh-d transporta*]. Ed. by S. V. Vershinsky. 3<sup>rd</sup> ed., rev. and enl. Moscow, Transport publ., 1991, 360 p.
- Iwnicki, S. D., Stichel, S., Orlova, A., Hecht, M. Dynamics of railway freight vehicles. *Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, 2015, Vol. 53, Iss. 7, pp. 995–1033. DOI: <https://doi.org/10.1080/00423114.2015.1037773>.
- Bespalko, S., Grigorev, P., Ibodullov, Sh., Turajonov, K., Numonov, A. Mathematical model of oscillations of a railway tank car with partial filling under shunting collision. 2020 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020, Vol. 883, 012134. [Electronic resource]: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/883/1/012134>. Last accessed 19.02.2021.
- Bespalko, S. V., Grigoriev, P. S., Ruzmatov, M. I., Ibodullov, Sh. R. A study method for possible breakdown of boiler tank for dangerous goods in an emergency collision. E3S Web of Conferences, 2020, Vol. 224, Art. 01045. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022401045>.
- Ranganathan, R., Yang, Y. S. Impact of Liquid Shift on the Braking Characteristics of Partially Filled Tank Vehicles. *Vehicle System Dynamics*, 1996, Vol. 26, Iss. 3, pp. 223–240. DOI: [10.1080/00423119608969310](https://doi.org/10.1080/00423119608969310).
- Vysotsky, M. S., Pleskachevsky, Yu. M., Shimanovsky, A. O. Dynamics of automobile and railway tanks [*Dinamika avtomobilnykh i zheleznodorozhnykh tsistern*]. Minsk, Belavtotraktorostroenie, 2007, 320 p.
- Shimanovsky, A. O., Pleskachevsky, Yu. M., Vysotsky, M. S. Prospects of research of dynamics of tanks for transportation of liquid cargo [*Perspektivy issledovaniy dinamiki tsistern dlya transportirovki zhidkikh gruzov*]. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov*, 2007, No. 1, pp. 38–42.
- Putyato, A. V., Shimanovsky, A. O. Modeling the loading of tank structure elements [*Modelirovanie nagruzhennosti elementov konstruktivnykh tsistern*]. Problems of railway transport mechanics: traffic safety, dynamics, strength of rolling stock, energy saving: Abstracts of reports of the 12<sup>th</sup> International Conference, 28–30.05.2008. Dnepropetrovsk, DNUZhT publ., 2008, p. 142.
- Universal Mechanism: software, user manual, presentations. Website. [Electronic resource]: [www.umlab.ru](http://www.umlab.ru). Last accessed 19.02.2021.
- Boronenko, Yu. P., Zhitkov, Yu. B. Features of the dynamics of a tank wagon with a liquid cargo [*Osobennosti dinamiki vagona-tsisterny s zhidkim gruzom*]. *Izvestiya PGUPS*, 2017, Iss. 4, pp. 597–604. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennostidynamiki-vagona-tsisterny-s-zhidkim-gruzom/pdf>. Last accessed 19.02.2021.
- Mantriota, G. Directional stability of articulated tank vehicles: A simplified model. *Heavy Vehicle Systems, Int. J. of Vehicle Design*, 2003, Vol. 10, Iss. ½, pp. 144–165. DOI: [10.1504/IJHVS.2003.002438](https://doi.org/10.1504/IJHVS.2003.002438).
- Lavrenko, D. T. Mathematical model of spatial oscillations of tank cars [*Matematicheskaya model prostranstvennykh kolebaniy vagonov-tsistern*]. *Zbirnik prats DonIIZT*, 2008, Iss. 14, pp. 126–136. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskayamodel-prostranstvennykh-kolebaniy-vagonov-tsistern/pdf>. Last accessed 19.02.2021.
- Maxfield, B. Essential PTC Mathcad Prime 3.0: A Guide for New and Current Users. Elsevier Inc., 2014, 564 p. ISBN: 978-0-12-410410-5. ●

### Information about the authors:

**Grigoriev, Pavel S.**, Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Electric Trains and Locomotives of Russian University of Transport, Moscow, Russia, [grigorev.p@gmail.com](mailto:grigorev.p@gmail.com).

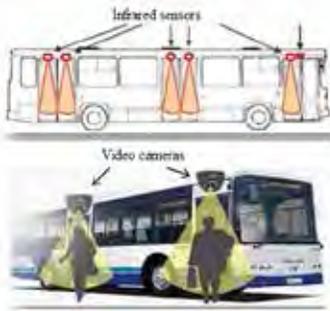
**Korzhin, Sergey N.**, Ph. D. (Eng), Associate Professor at the Department of Wagons and Wagon Operations of Russian University of Transport, Moscow, Russia, [korzhin@mit.ru](mailto:korzhin@mit.ru).

**Ibodullov, Sherzod R.**, Ph.D. student at the Department of Mechanics and Mathematical Modelling of National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Tashkent, Uzbekistan, [shezod\\_uzmu@inbox.ru](mailto:shezod_uzmu@inbox.ru).

**Tran, Phu Thuan**, D.Sc. (Eng), First Deputy Chairman of the Society of Vietnamese Citizens in the Russian Federation, Ho Chi Minh City, Vietnam, [tranphuthuan@yahoo.com](mailto:tranphuthuan@yahoo.com).

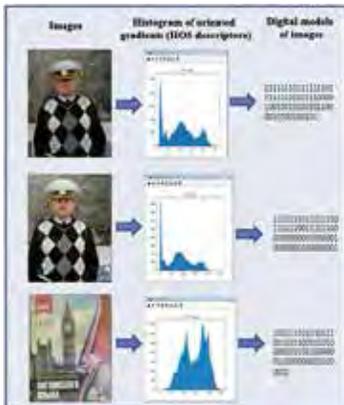
Article received 19.02.2021, approved 20.04.2021, accepted 23.04.2021.

# T

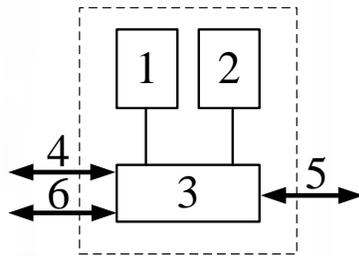


## NEW TECHNOLOGY AND PUBLIC TRANSPORT 174

Computer vision and neural networks serve to automate development of travel matrices.

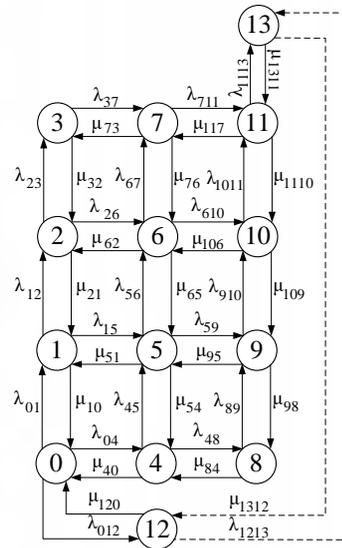


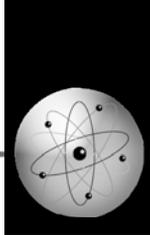
## SCIENCE AND ENGINEERING



## TRANSPORT RADIO COMMUNICATIONS 183

Calculation of performance and conditions of base stations in digital networks.





ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-5>World of Transport and Transportation,  
2021, Vol. 19, Iss. 2 (93), pp. 174–182

# Automation of Collection of Primary Data for Development of a Passenger Origin-Destination Trip Correspondence Matrix Based on Computer Vision and Neural Network Technologies



*Anatoly V. Postolit*

*Smart Information Systems Company, Moscow, Russia.*

✉ [anat\\_post@mail.ru](mailto:anat_post@mail.ru).

Anatoly V. POSTOLIT

## ABSTRACT

*The origin-destination trip matrix is a fundamental characteristic of a transport network, and development of a reliable correspondence matrix is the most important task in organising passenger traffic. It is the basis on which the public transport route network of a city (region) is built and optimised.*

*Currently, collection of initial information for construction of a travel correspondence matrix is carried out through field surveys comprising questionnaire surveys of the population; accounting for movement of passengers according to the coupons issued to them; checkers, tellers manually counting passengers in vehicle compartments; simple surveys of passengers. Besides, mathematical modelling is used based on statistical data on the number of residents in various districts of the city, employees in enterprises and students in educational institutions, as well as on available data on the characteristics of passenger traffic along certain routes. All these surveys are very expensive and are carried out once over few years; they give a large error, which is why decisions made on the basis of these data are far from being optimal.*

*There are a lot of solutions in the software and hardware market that provide automated collection of data on passenger flows. They are based on the use of infrared sensors or of video recording. However, none of these systems provide information about the points of entry and exit of each passenger.*

*The objective of this study was to develop methods for automating the collection of reliable information about passenger trips, that will be the base for building up-to-date and reliable passenger trip correspondence matrices. This task can be solved by constant monitoring of passengers' trips with fixing places of entry and exit of each passenger.*

*The study describes the possibility of creating software based on computer vision and artificial intelligence which will provide automation of collection of primary information about travel of each passenger from the place of boarding into the vehicle to exit from it, that is, automation of data generation to build a passenger trip correspondence matrix.*

*Keywords:* passenger transport, passenger flows, trip correspondence matrix, artificial intelligence, neural networks, machine learning, computer vision.

*For citation:* Postolit, A. V. Automation of Collection of Primary Data for Development of a Passenger Origin-Destination Trip Correspondence Matrix Based on Computer Vision and Neural Network Technologies. *World of Transport and Transportation*, 2021, Vol. 19, Iss. 2 (93), pp. 174–182. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-5>.

*The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.  
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.*

## INTRODUCTION

Trip origin-destination correspondence matrix is a basic table describing how people travel around a city. It shows how many residents move from one district of the city to another and is the base for building the route network, identifying the required number of vehicles, developing the traffic timetable [1; 2].

In modern cities and megalopolises, a lot of residential and industrial infrastructure is being built, enterprises are being relocated, residential and employment locations are changing, resulting in a dynamic change in the volume and directions of trips. Under these conditions, the construction of true trip correspondence matrices requires absolutely reliable information about real passenger trips.

There are a lot of solutions in the software and hardware market that provide automated collection of passenger traffic data. In most cases, they are based on infrared sensors [3] and video recording by cameras located in the entry and exit door openings of vehicles [4]. However, none of the existing automation systems for collecting data on passenger traffic provides information about the points of entry and exit of each passenger, while these data are basic for developing passenger origin-destination trip correspondence matrices. Due to the lack of such data, the trip correspondence matrices are still developed based on sample surveys, population surveys, statistical data on the number of residents in certain districts of the city and the number of employees at enterprises. These data do not reflect the real picture of daily migration of the urban population. Accordingly, decisions made based on this information are far from being optimal. All existing methods of automating

the accounting of passenger flows do not allow obtaining data for constructing a trip origin-destination correspondence matrix.

Based on the foregoing, the *objective* of this study was to develop methods for automating data acquisition to develop a complete and reliable correspondence matrix of population trips with public land passenger transport.

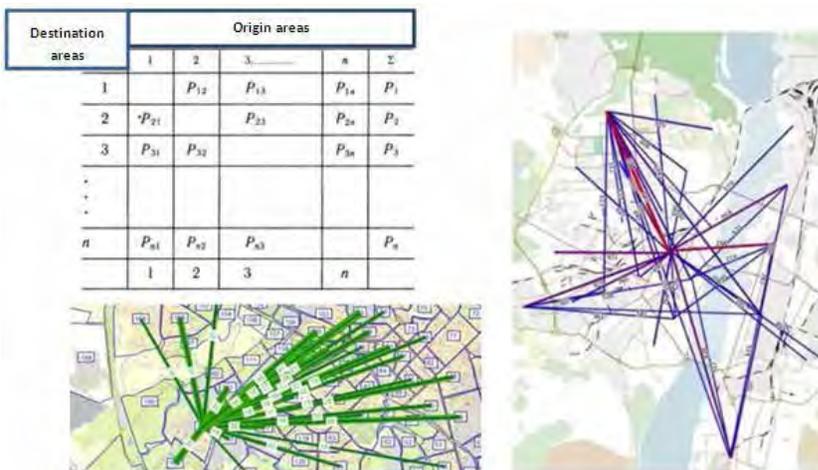
This task can be solved by constant monitoring of passengers' trips with fixing the place of entry and exit of each passenger. To fix the place of entry and exit of each passenger, it is proposed to use the *methods* of computer vision and artificial intelligence.

## RESULTS

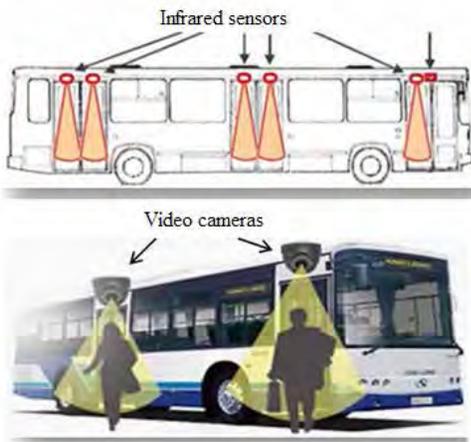
### Shortages of Existing Technology to Solve Pertinent Problems

When solving the problem of optimising the route network of public transport, two concepts should be clearly distinguished: passenger traffic and the passenger trip correspondence matrix. Passenger flow largely characterises the general statistics of passenger movement (the number of passengers at different times of the day, days of the week, during different seasons, etc.) with reference to a stop, route, transport company, city, etc. The passenger trip origin-destination correspondence matrix (Pic. 1) is a quantitative characteristic that determines the volume of passenger flow between each pair of «points» [1; 2]. Here «points» refer either to specific stops of public transport, or conditional zones that were obtained by combining stopping points to some areas (for example, city districts).

The trip origin-destination correspondence matrix is a fundamental characteristic of the



Pic. 1. Trip origin-destination correspondence matrix [1; 2].



Pic. 2. Automated passenger traffic accounting systems [4].

transport network, and development of a true trip origin-destination correspondence matrix is the most important task in organising passenger transportation. The trip origin-destination correspondence matrix is the basis on which the public transport route network is built and optimised. In turn, a well-built route network allows you to determine the required number of vehicles on routes, optimise the timetable, reduce material costs for organising transportation, and, ultimately, meet the people's need for transport services with minimal costs.

Automation of passenger traffic accounting is currently quite deeply developed and implemented in the form of many different technical solutions: contact sensors on the steps of a vehicle, infrared sensors [3] or video cameras [4] in the area of the front door (Pic. 2).

However, statistical data on passenger traffic on routes does not make it possible to construct a passenger trip origin-destination correspondence matrix. These data provide just a summary of incoming and outgoing passengers.

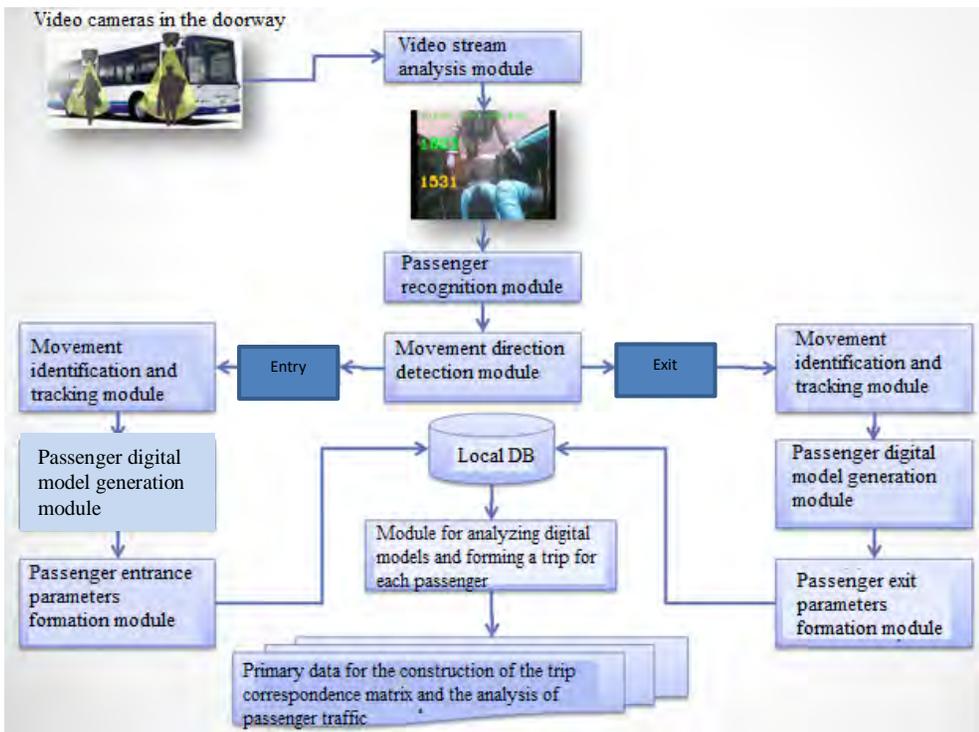
Currently, automation of data collection for development of a passenger trip origin-destination correspondence matrix has not actually been implemented. This problem is solved with a fairly large error and with great expense on the basis of specially organised field surveys. It should be noted that full-scale survey methods are often associated with significant organisational, financial, and legal problems, so their application sometimes becomes impossible, especially in large cities where passenger flows are large. For some modes of transport (rail, air, water), the problem of developing a trip correspondence

matrix can be solved based on the analysis of purchased tickets that indicate the points of departure and arrival.

The classical method of obtaining data for constructing a trip origin-destination correspondence matrix is associated with field surveys (special travel coupons, questionnaires of the population, polling of passengers by pollsters in vehicles, etc.), as well as with mathematical modelling methods [5]. The disadvantages of field surveys are explained through significant laboriousness of collecting and processing data, low reliability of data due to the human factor, high cost of the survey, lack of repeatability statistics (it is impossible to distinguish weather conditions, season, and other features of the current day). The high cost and labour intensity of the survey are the reasons why such surveys are carried out every 15–20 years only, which does not make it possible to promptly update and optimise management decisions.

There are approaches to automating development of an approximate trip origin-destination correspondence matrix in the metro using mobile phones of passengers [6]. Cellular operators can track the entries and exits of passengers from the metro, determining the moments when their mobile subscriber switches to a base station located in the metro (enters the metro) or to a base station in the city (exits the metro). Such anonymous data can serve as the basis for development of a trip correspondence matrix for each pair of metro stations. However, this approach is unacceptable for land passenger transport. Difficulties in solving this problem are also associated with the large dimension of primary information, and with the lack of a single methodology for obtaining a trip correspondence matrix for a given city, which should include not only job and education-related trips, but also travelling with cultural and household purposes, as well as travelling of retirees.

The city's working population and students travel daily by public transport to job and study locations. Such trips account for the largest share as they are regular. However, there are trips of unemployed retirees, as well as other travelling of residents which is of a cultural and household nature. These trips, one way or another, affect the congestion of city routes. The general trip origin-destination correspondence matrix, which includes labour, cultural and household trips, will fully describe the nature of all trips in the city.



*Pic. 3. The basic structure of a system for automating the collection of primary data on passenger trips with public transport based on neural network technologies (compiled by the author).*

Such detailing seems to be especially important for the purposes of optimising the route network.

### Description of Suggested Technology

Is it possible to automate the process of recording trips with a clear fixation of the entry and exit point for each passenger? It is almost impossible to solve such a problem based on infrared sensors, since they do not allow identifying an object. But it is quite possible based on video recording. In recent years, with development of convolutional neural networks (CNN, R-CNN, Mask R-CNN), there has been an explosive development of neural network technologies and computer vision systems. Accordingly, it became possible to develop fundamentally new automated systems for accounting and analysis of passenger flows based on these technologies with the possibility of forming a reliable and complete passenger trip origin-destination correspondence matrix for urban land passenger transport. The development of such a system, which is absent in the software and hardware market, is the novelty of this work.

The basic structure of the system for automating the collection of primary data on passenger trips in public transport, which is based on neural

network technologies and developed within the framework of this study, is shown in Pic. 3.

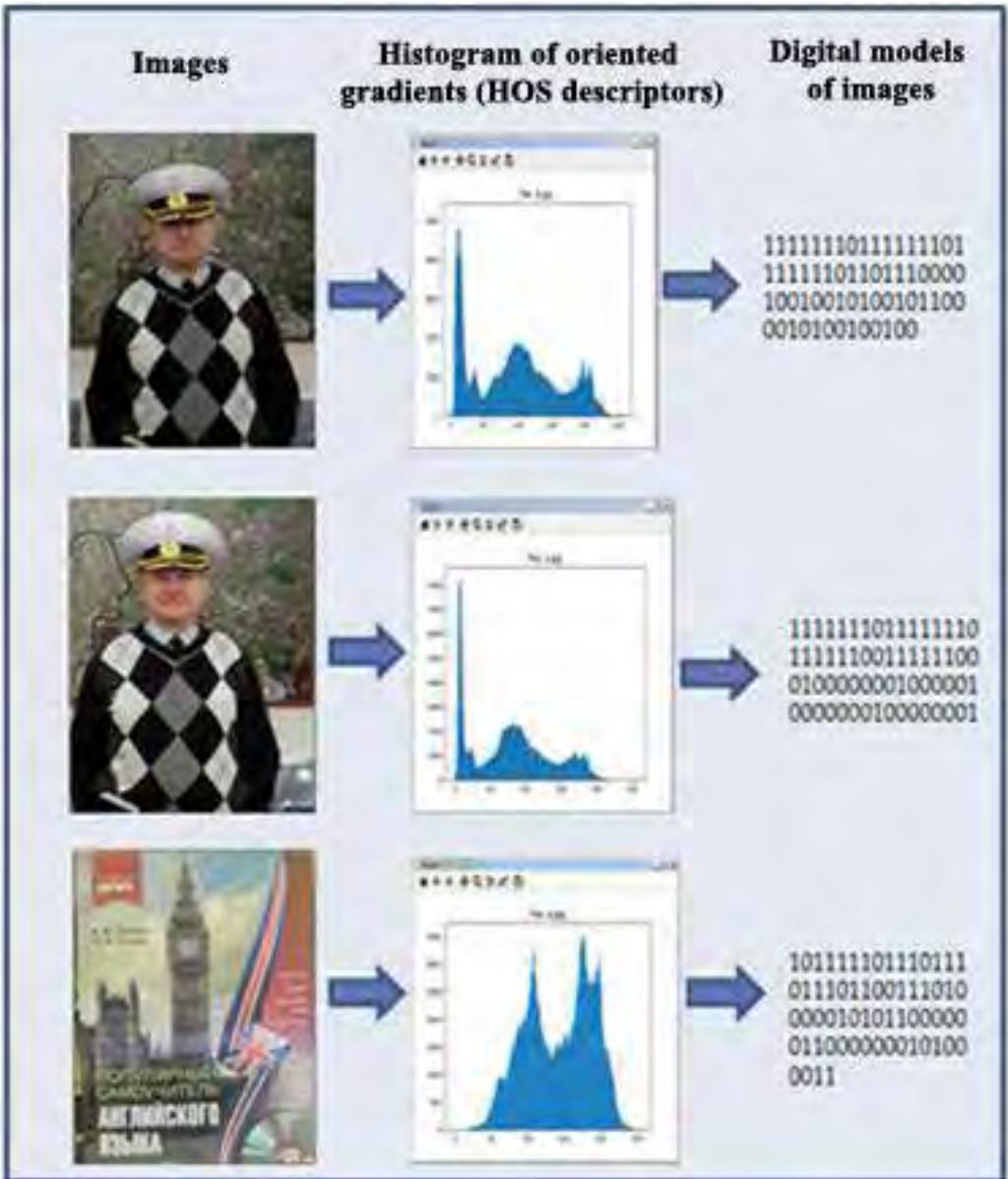
The software and hardware complex shown in Pic. 3, consists of the following elements:

- Video camera located in the upper part of the vehicle entrance door opening.
- Onboard minicomputer.

This complex works as follows. The video stream in real time comes from the video camera to the onboard computer and is processed by specialised software. This software solves the following tasks:

- Recognises passengers entering and exiting the vehicle (passenger detector – top view).
- Converts the image of each entering passenger into a unique digital model and saves it.
- Fixes the entry parameters of each passenger (date, time, entry stop).
- Converts the image of each exiting passenger into a unique digital model and saves it.
- Fixes the exit parameters of each passenger (date, time, exit stop).
- Compares the digital model of the image of exiting passengers with digital models of the passengers who have entered the vehicle and generates a unique pair of entry-exit values for each passenger.





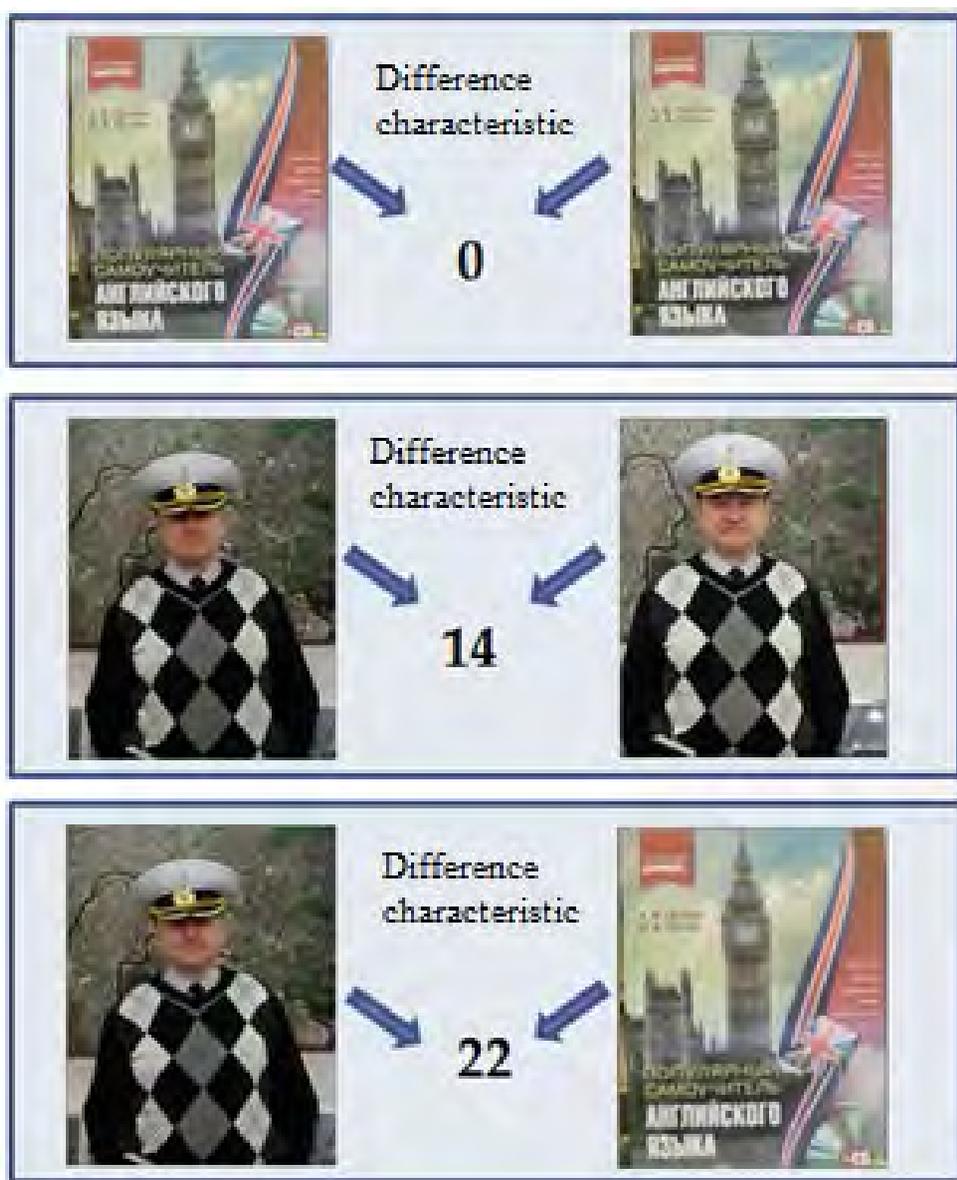
*Pic. 4. Digital models of images based on the histogram of oriented gradients (developed by the author).*

- Counts the number of passengers: who entered the cabin, exited the cabin, who are in the cabin of the vehicle at each stopping point.

The parameters of the trip of each passenger obtained in this way are transferred to the server platform upon completion of operation of the vehicle on the route, where, based on the server software, the passenger trip origin-destination correspondence matrix and statistics on passenger traffic will be formed.

At first glance, it is possible, without using digital models, to simply compare the snapshot of the passenger at the entrance with the snapshot of the passenger at the exit. However, for such a

comparison, it is imperative to perform the image normalisation procedure. But even after normalising the images, you may not get the desired result, since the passenger can enter directly and exit sideways, at some angle or even backward. Multiple cyclic image rotation and comparison will be required, which will require additional processing time and may not lead to the expected result. In addition, the complete image takes up a fairly large amount of RAM, which will also require large time resources for processing. It is more correct in this case to use a digital identification model of the image. Such models are based on selection of a set of key



Pic. 5. Examples of image comparison based on their digital models (developed by the author).

points on images. The Delaunay triangulation or Voronoi diagrams, which are used in face matching and morphing systems, can be used as a basis for such models. Histograms of oriented gradients (HOG singular point descriptors) can be used, which are applied in computer vision for object recognition [7].

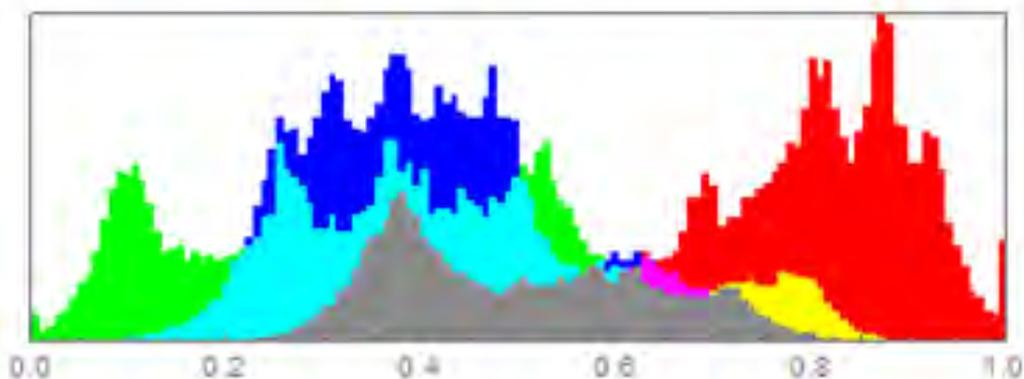
Currently, the implementation of technology and software modules to automate collection of data on passenger trips based on neural network technologies and computer vision with participation of the author has started. The Pic. 4 shows examples of generation of digital image models, which are built on the basis of a

histogram of oriented gradients. Here the images were reduced to one colour which is grayscale.

Naturally, the digital model takes up much less space in the computer's memory and, in addition, it makes it possible to compare images and evaluate their similarity. Pic. 5 shows examples of image comparison based on their digital models.

As can be seen from Pic. 5, for absolutely identical images, the difference coefficient calculated based on the digital model is zero. With the growth of the difference between the fragments of images, the characteristic of the





*Pic. 6. An example of a histogram of image colours (developed by the author).*

differences increases. So, in the second row the same person changed the position of the head, and this change was recorded in the histogram. However, the characteristic of difference (14) did not exceed the threshold value (19), and the objects depicted on them can be classified as identical. But in the third row, the characteristic of difference (22) exceeded the threshold value, which suggests that the images picture different objects (the threshold value is determined empirically). Using a digital model and a correctly selected threshold value, it is possible to assess similarity or differences of objects in the images, that is, for the problem under consideration, to find a correspondence between the passenger who entered and exited. With even greater accuracy, it is possible to

compare objects in images using a histogram of not a single colour, but a histogram of a group of colours (Pic. 6).

Homography methods are of particular interest for searching for similarity in images. When using them, the angles of rotation and tilt of compared images are not of fundamental importance [8]. This is especially important for solving the problem under consideration, since the position of the passenger moving in the area of the camera above the entrance door cannot be strictly fixed. Pic. 7 shows an example of visual comparison of images using the homography method. To ensure sufficient accuracy of passenger recognition at the entrance and exit, it will be necessary to use a combination of the above methods of forming and comparing digital models.



*Pic. 7. Visual comparison of images by the method of homography (compiled by the author).*

To fix the location of entry-exit of a passenger based on his image in the video stream, it is necessary to perform the following steps, particularly, to:

- Recognise the silhouette of a passenger when he enters the vehicle.
- Segment the silhouette, transform it into a digital model and fix the parameters of the entrance.
- Recognise the silhouette of a passenger when he exits the vehicle.
- Segment the silhouette, transform it into a digital model and fix the parameters of the entrance or exit.
- For the passenger who exited the vehicle, based on the comparison of digital models, find the parameters of the entrance, and form the trip (stop at the entrance – stop at the exit).

The location (stop) of the passenger's entrance and exit can be determined using the onboard satellite navigation system of the vehicle. Synchronisation of primary data on the places of entry and exit of passengers with stopping points can be carried out either at the vehicle level (by integrating the onboard software of two subsystems), or on the server side of the navigation data processing system (by comparing the time of entry and exit of passengers from the passenger travel accounting system with the exact time of vehicle's presence at stopping points obtained from the navigation system).

As a result of video processing, the software generates anonymised data on passenger trips with the following parameters:

- Stopping point, date, and time of boarding the vehicle.
- Stopping point, date, and time of exiting the vehicle.

This information is recorded in the logbook as a text file. Such a file, containing, for example, information about 1000 passenger trips, will occupy no more than 50 kB in computer memory. After the vehicle completes its operation on the route, this data array must be transferred to a stationary computer (or to a server platform), where a passenger trip origin-destination correspondence matrix will be formed using the data. In addition, using the same data array, it will be possible to obtain traditional reporting on passenger traffic.

The solution to this problem is based on the use of neural networks, machine learning and various methods of image processing. In this

regard, the following tools were used for software development:

- Programming language Python.
- Specialised libraries for building neural networks and machine learning (Keras [9], PyBrain, Scikit-learn, TensorFlow, PyTorch with torchvision, etc.).
- Libraries for image and matrices processing (OpenCV [10], ImageAI [11], NumPy).

To simplify creation of similar applications and reduce the program code, we have developed our own Postoperative Library for Image Transformation – PostoLIT.

To date, using this toolkit, some basic modules of the computer vision system have been implemented to solve the problem, in particular:

- R-CNN neural networks for object recognition.
- Image segmentation and clustering modules based on Haar cascades.
- Modules for recognition and segmentation of object instances based on Mask R-CNN networks.
- Modules for recognising key points of the image (based on technologies for finding facial landmarks and face elements).
- Modules for constructing digital models of images based on a histogram of oriented gradients.
- Modules for matching images based on homography and HOG detectors.

Who might be interested in systems of automated data collection on trips with fixing the place of entry and exit of each passenger? First, these are passenger motor (bus) transport enterprises. According to the analytical agency Avtostat, as of January 1, 2020, there are about 409,9 thousand buses in Russia<sup>1</sup>, more than 8 thousand trams<sup>2</sup> and 4 thousand trolleybuses<sup>3</sup>. This sufficiently large fleet of vehicles can use this system. Such systems are of interest to city and regional authorities, which provide and organise transport services for the residents. Today in the Russian Federation there are 85 constituent entities and 1117 cities, of which 173 cities have a population of over 100 thousand inhabitants<sup>4</sup>. There are 43

<sup>1</sup> Russian bus fleet: key indicators at the beginning of 2020 [Rossiiskiy park avtobusov: osnovnie pokazateli na nachalo 2020 goda]. [Electronic resource]: <https://www.autostat.ru/infographics/43090/>. Last accessed 25.02.2021.

<sup>2</sup> The state of the tram system in Russia [Sostoyanie tramvain-oi sistemy v Rossii]. [Electronic resource]: <http://www.ipem.ru/news/publications/914.html>. Last accessed 25.02.2021.

<sup>3</sup> Trolleybus cities in Russia [Trolleibusnie goroda Rossii]. [Electronic resource]: <http://trollcity.narod.ru/stat.htm>. Last accessed 25.02.2021.

<sup>4</sup> Federal structure of Russia [Federalnoe ustroystvo Rossii]. [Electronic resource]: <https://mnogofactov.ru/goroda-i-strany/skolko-sub-ektov-v-rf-na-2019-god.html>. Last accessed 25.02.2021.



largest domestic suppliers of information systems for transport companies, which, among other software products, develop and implement systems for accounting for passenger traffic<sup>5</sup>. They will be able to use the developed software modules to integrate them into their existing passenger traffic accounting systems and automated fare collection systems, thereby expanding their functionality, as well as to create new products based on the proposed software and technological solutions.

Besides, the proposed technological approach and software may be in demand not only in the transport industry, but also in other sectors of production activity, where it is required to fix movement of objects with external individual characteristics, where it is necessary to estimate time of customer service, as well as to assess the effectiveness of service personnel, e.g., in systems for determining the time spent by customers in retail outlets, assessing the time of customer service in the municipal centres providing services to residents, in clinics, in banks and other organisations. All this favours the prospects for the development and the demand for computer vision systems.

## CONCLUSIONS

Computer vision and artificial intelligence are, perhaps, the most demanded areas of information technology development.

Existing automation systems for collecting data on passenger trips do not allow fixing the place of entry and exit of each passenger; accordingly, it is not possible to build a trip origin-destination correspondence matrix using these data.

The level of achievements in the field of artificial intelligence and computer vision makes it possible to automate the collection of data on passengers' trips with public transport while fixing the place of entry and exit of each passenger. Considering the fact that currently there are no

such solutions in the software market, they have significant competitive advantages and a good prospect for implementation.

## REFERENCES

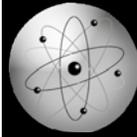
1. Regularities of urban traffic (mobility of the urban population, calculation of origin-destination trips). Online presentation [*Zakonomernosti gorodskogo dvizheniya (podvizhnost' gorodskogo naseleniya, raschet korrespondentsii)*]. [Electronic resource]: <https://ppt-online.org/681708>. Last accessed 25.02.2021.
2. Khabarov, V. I., Teselkin, A. A., Kosolapov, K. P. Planning experiments for assessment of the travel correspondence matrix. Reports of the Academy of Sciences of the Higher School of the Russian Federation, July – September 2015 [*Planirovanie eksperimentov dlya otsenki matritsy transportnykh korrespondentsii. Doklady AN VSh RF, iyul-sentyabr 2015*]. [Electronic resource]: <https://docplayer.ru/27479223-Planirovanie-eksperimentov-dlya-ocenki-matritsy-transportnykh-korrespondencyi.html>. Last accessed 25.02.2021.
3. Automated passenger traffic monitoring system (ASMPP) [*Avtomatizirovannaya sistema monitoringa passazhiropotokov (ASMPP)*]. [Electronic resource]: <https://transsensor.ru/catalog/datchiki-irma/asmpp-irma-basic-can>. Last accessed 25.02.2021.
4. Infoteh PasCounter – a ready-made solution for automatic passenger counting [*Infoteh PasCounter – gotovoe reshenie dlya avtomaticheskogo podscheta passazhirov*]. [Electronic resource]: <https://pascounter.infoteh.ru/>.
5. Lebedeva, O. A. Improvement of methods for monitoring passenger traffic on the routes of public urban passenger transport. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [*Sovershenstvovanie metodov monitoringa passazhiropotokov na marshrutakh gorodskogo passazhirskogo transporta obshchego polzovaniya. Avtoref. dis... kand. tekh. nauk*]. Irkutsk, 2014. [Electronic resource]: [https://www.istu.edu/docs/science/2014/gefence/lebedeva\\_ref.pdf](https://www.istu.edu/docs/science/2014/gefence/lebedeva_ref.pdf). Last accessed 25.02.2021.
6. Namiot, D. E., Nekraplenaya, M. N., Pokusaev, O. N., Chekmarev, A. E. Trip correspondence matrices and analysis of passenger traffic [*Matritsy korrespondentsii i analiz passazhiropotokov*]. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/matritsy-korrespondentsiy-i-analiz-passazhirskih-potokov/viewer>. Last accessed 25.02.2021.
7. Yongzheng, Xu; Guizhen, Yu; Yunpeng, Wang; Xinkai, Wu; Yalong, Ma. A Hybrid Vehicle Detection Method Based on Viola-Jones and HOG + SVM from UAV Images. [Electronic resource]: <https://www.mdpi.com/1424-8220/16/8/1325/htm>. Last accessed 25.02.2021.
8. Basic concepts of the homography explained with code. [Electronic resource]: [https://docs.opencv.org/master/d9/dab/tutorial\\_homography.html](https://docs.opencv.org/master/d9/dab/tutorial_homography.html). Last accessed 25.02.2021.
9. Writing documentation for OpenCV. [Electronic resource]: [https://docs.opencv.org/master/d4/db1/tutorial\\_documentation.html](https://docs.opencv.org/master/d4/db1/tutorial_documentation.html). Last accessed 25.02.2021.
10. Official English Documentation for ImageAI. [Electronic resource]: <https://imageai.readthedocs.io/en/latest/>. Last accessed 25.02.2021.
11. Keras tutorial points (simply easy learning). [Electronic resource]: [https://www.tutorialspoint.com/keras/keras\\_tutorial.pdf](https://www.tutorialspoint.com/keras/keras_tutorial.pdf). Last accessed 25.02.2021.

<sup>5</sup> The largest IT providers for transport companies 2019 [*Krupneishie postavshchiki IT dlya transportnykh kompanii 2019*]. [Electronic resource]: [https://www.cnews.ru/reviews/it\\_v\\_transportnoj\\_otrasli\\_2020/review\\_table/bf149373aea1d048bd7ffb7edc98bda8b29f7245](https://www.cnews.ru/reviews/it_v_transportnoj_otrasli_2020/review_table/bf149373aea1d048bd7ffb7edc98bda8b29f7245). Last accessed 25.02.2021.

### Information about the author:

**Postolit, Anatoly V.**, D.Sc. (Eng), Professor, Director of Smart Information Systems Company, Moscow, Russia, [anat\\_post@mail.ru](mailto:anat_post@mail.ru).

Article received 25.02.2021, approved 21.04.2021, accepted 23.04.2021.



# Performance of Base Stations in Railway Digital Radio Communication Networks



Yuri V. NEMTSOV



Igor V. SERYOGIN



Petr I. VOLNOV

*Yuri V. Nemtsov<sup>1</sup>, Igor V. Seryogin<sup>2</sup>, Petr I. Volnov<sup>3</sup>*  
<sup>1,2,3</sup> Russian University of Transport, Moscow, Russia.  
✉ <sup>1</sup> [rut1408@mail.ru](mailto:rut1408@mail.ru).

## ABSTRACT

Base station (BS) is a terminal device of a radio communication network, while railway radio communications play an important role in ensuring safety of passenger and cargo transportation.

A proposed method for calculating the performance of base stations in railway digital radio communication networks is intended to calculate for the BS the probabilities of being in certain state.

BS was decomposed and such functional elements as circuit groups and a radio frequency path were identified, as well as the central module ensuring the exchange of information with elements of this BS and with other BSs. A detailed study of each element has increased accuracy of the proposed method. Following the Markov model, BS is presented as a system in which all possible states are considered. Models for BS with two and three circuit groups have been constructed.

The parameters of each functional element of the model can be obtained through observation over a certain period. The solution of the system of equations for each of the models presented in the article will allow obtaining the values of the system being in a certain state. The obtained characteristics can be used to calculate the reliability of the entire radio communication network, and then to assess quality of service provided to the users of this network.

Conclusions are made about the possibilities of using the obtained models when designing new railway communication networks and when calculating quality indices of existing ones. The proposed models can be applied not only to railway radio communication networks but also to mobile communication networks of commercial operators.

**Keywords:** digital radio communication network, railway telecommunication systems, call quality, train traffic safety.

*For citation:* Nemtsov, Yu. V., Seryogin, I. V., Volnov, P. I. Performance of Base Stations in Railway Digital Radio Communication Networks. World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 2 (93), pp. 183–190. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-6>.

**The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.  
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.**

## INTRODUCTION

Radio communication as a type of telecommunications has been widely used on railways. Initially, it was used only for exchange of voice information between mobile and fixed subscribers. Considering development of high-speed traffic, as well as rapid growth of telecommunications and information technologies, emergence of new generations of mobile communications, radio communications began to significantly increase the functionality. Now it is used for transmission of telemetric information, automatic control of rolling stock (auto-driving), video conferencing. The newest systems of interval regulation of trains' traffic (radio blocking) are being built over the radio channel, which are replacing the track circuits. Such positioning systems are described in [1].

Several works [2; 3] consider the issues of choosing the best standard and topology of the railway digital radio communication network. The work [4] should be considered an important contribution in the field of effective use of communication network elements, while the results of measurements of some characteristics are presented in ITU-R report [5]. The latest mobile technologies (for example, LTE and 5G) described in detail in [4; 6] are gaining popularity in some countries.

Digital train radio communication networks within the railway network of the Russian Federation are organised based on TETRA, GSM-R or DMR standards, while the probability of good communication at any place and time must be at least 95 %<sup>1</sup>, the availability of radio communication networks for high-speed transport must be at least 99, 95 % [7]. Therefore, at present, sufficient attention is paid to the issues of stable and reliable operation of radio communications. They are considered in [8; 9], and the issues of calculating survivability of a digital radio communication network are described in [10].

While designing a communication network, several tasks are posed: quality indicators are calculated for each class of service for subscribers considering changes in the load, gravity structure, channel capacity, as well as failure of network components; the load of equipment and

communication channels, the need for redundancy are estimated. These tasks are solved through modelling and subsequent system analysis [11]. The models in this study will simplify finding some characteristics of the communication network.

The *objective* of the study was to develop a method to calculate the performance of base stations within railway digital radio communication networks and the probabilities for BS of being in certain states. The main *method* of the study was analytic modelling used in the theory of telecommunication traffic to solve similar problems.

## RESULTS

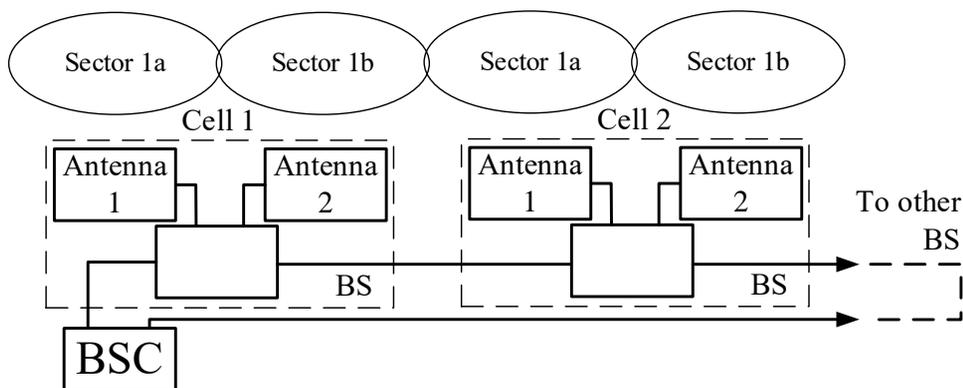
Let us consider a simplified diagram of a digital radio communication network of railway transport on a given section of the railway. No radio coverage redundancy exists. The radio communication network contains a certain number of base stations (BS), interconnected by a terrestrial communication channel (Pic. 1).

The BS connection scheme is sequential, since, according to the requirements [5], they must be connected to the Base Station Controller (BSC) according to the «spatial ring» principle. Each antenna serves a specific sector of the cell. All requests for connections from mobile terminals are transmitted from BS through communication channels to BSC. It connects the required BS to operation, which connects the terminal of the called subscriber through the radio communication channel. Radio coverage of the required area is provided through the antennas of each sector.

A functional model of a base station of a digital radio communication network is shown in Pic. 2. The numbers 1 and 2 denote the radio frequency path of the base station (antennas, antenna-feeder devices, etc.) of the left and right sectors, number 3 – the switching, control and connection modules that provide information exchange with other base stations over circuit groups (numbers 4 and 5), as well as interaction with the RF path. For simplicity, component 3 will be called further-on a switch.

It is proposed to consider BS as a system with several functional elements. To obtain the dependences of the required characteristics on all parameters of the system, analytical modelling is used, which is widespread in the theory of telecommunications traffic when solving such problems. Description and examples of some

<sup>1</sup> GOST R [Russian State Standard] 54959-2012. Railway electric communications. Train radio communications. Technical requirements and control methods. Date of enactment: April 1, 2013. [Electronic resource]: <https://docs.cntd.ru/document/1200095030>. Last accessed 12.01.2021.



Pic. 1. Simplified diagram of railway digital radio communication network (compiled by the authors).

models are given in [12], and the solution of such problems is described in [13], and regarding the railway transport [14].

For our functional model of BS (Pic. 2), we will construct a graph of possible transitions between operability states (Pic. 3). Let  $\lambda$  be the failure flow intensity of each element of the model,  $\mu$  – recovery flow intensity,  $P_i$  – probability of the system being in the state  $i = [0, 10]$ .

The scheme of the model's functioning makes it possible to distinguish ten discrete states in which the system could be:

0 – Both sectors of the base station are operational, all circuit groups are operational, switching is in progress.

1 – Both sectors of the base station are operational, one of the circuit groups is faulty, switching is in progress.

2 – Both sectors of the base station are operational, both circuit groups are faulty, switching is in progress.

3 – Only one of the sectors of the base station is operational, all circuit groups are operational, switching is in progress.

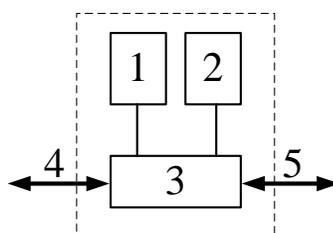
4 – Only one of the sectors of the base station is operational, one of the circuit groups is faulty, switching is in progress.

5 – Only one of the sectors of the base station is operational, both circuit groups are faulty, switching is in progress.

6 – Both sectors of the base station are inoperative, all circuit groups are in good order, switching is in progress.

7 – Both sectors of the base station are inoperative, one of the circuit groups is faulty, switching is in progress.

8 – Both sectors of the base station are inoperative, both circuit groups are faulty, switching is in progress.



Pic. 2. A functional model of a base station with two sectors, two circuit groups and a switch (compiled by the authors).

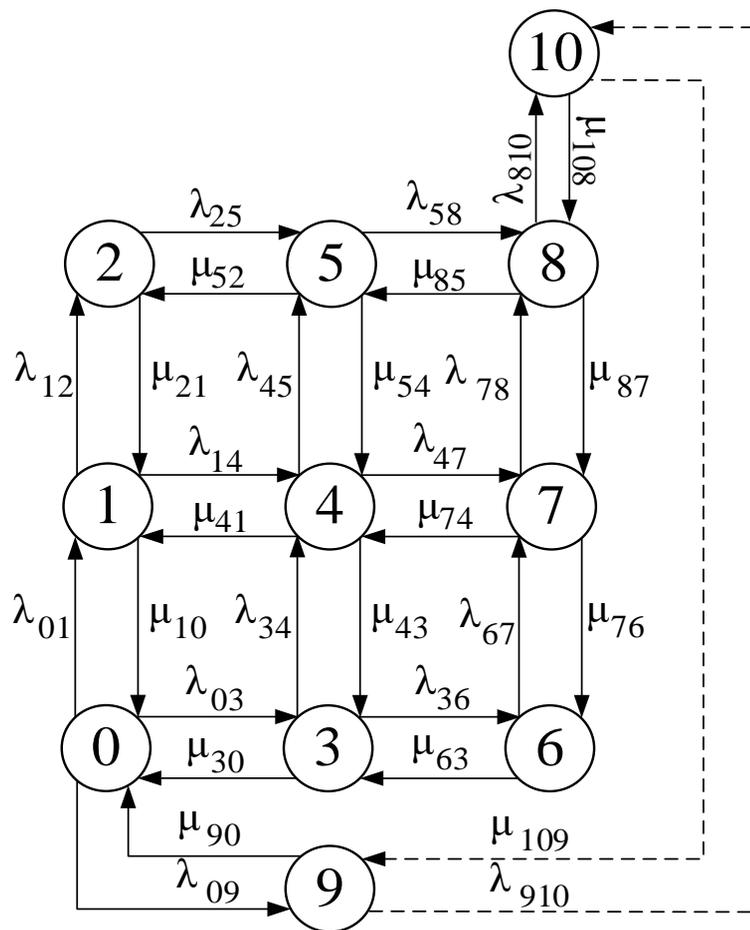
9 – Both sectors of the base station are operational, all circuit groups are operational, switching is not performed.

10 – Both sectors of the base station are inoperative, all circuit groups are faulty, switching is not performed.

State 0 indicates that the system is fully operational. States 1, 3 and 4 indicate that the base station has received serious damage but it is functioning as intended with a deterioration in quality of service. In states 2, 5–9, the system is considered inoperative, even when its individual components are functioning. End state 10 indicates complete failure of base station components.

Let's compose a system of equations according to the following rules: the probability of the base station being in state  $P_i$  is to the left of the equal sign. To the right of the equation there is the sum of the products of the probabilities of all transitions entering (incoming arrows in Pic. 3) into state  $i$  of the system by the intensities of the states from which these flows originate, minus the probability of the considered state  $i$ , multiplied by the total intensity of transitions that remove the system (outgoing arrows in Pic. 3) from the given state  $i$ . To solve such a system, it is necessary to add one more equation that





Pic. 3. The graph of states of the operability model of a base station with two sectors, two circuit groups and a switch (compiled by the authors).

determines the normalisation condition, since the sum of the probabilities of all states is equal to one.

Let us write the system of equilibrium equations according to the graph:

$$P_0(\lambda_{01} + \lambda_{03} + \lambda_{09}) = P_1\mu_{10} + P_3\mu_{30} + P_9\mu_{90};$$

$$P_1(\mu_{10} + \lambda_{12} + \lambda_{14}) = P_0\lambda_{01} + P_2\mu_{21} + P_4\mu_{41};$$

$$P_2(\mu_{21} + \lambda_{25}) = P_1\lambda_{12} + P_5\mu_{52};$$

$$P_3(\lambda_{36} + \mu_{30} + \lambda_{34}) = P_6\mu_{63} + P_0\lambda_{03} + P_4\mu_{43};$$

$$P_4(\mu_{41} + \lambda_{45} + \lambda_{47} + \mu_{43}) = P_1\lambda_{14} + P_5\mu_{54} + P_7\mu_{74} + P_3\lambda_{34}; \quad (1)$$

$$P_5(\mu_{54} + \mu_{52} + \lambda_{58}) = P_4\lambda_{45} + P_2\lambda_{25} + P_8\mu_{85};$$

$$P_6(\mu_{63} + \lambda_{67}) = P_3\lambda_{36} + P_7\mu_{76};$$

$$P_7(\mu_{76} + \lambda_{78} + \mu_{74}) = P_6\lambda_{67} + P_8\mu_{87} + P_4\lambda_{47};$$

$$P_8(\mu_{85} + \mu_{87} + \lambda_{810}) = P_5\lambda_{58} + P_7\lambda_{78} + P_{10}\mu_{108};$$

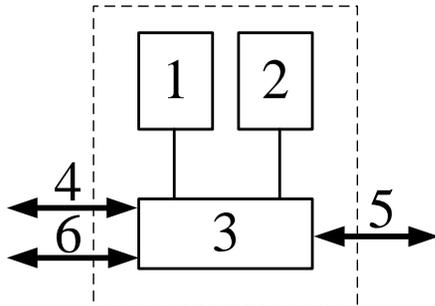
$$P_9(\mu_{90} + \lambda_{910}) = P_0\lambda_{09} + P_{10}\mu_{109};$$

$$P_{10}(\mu_{109} + \mu_{108}) = P_9\lambda_{910} + P_8\lambda_{810}.$$

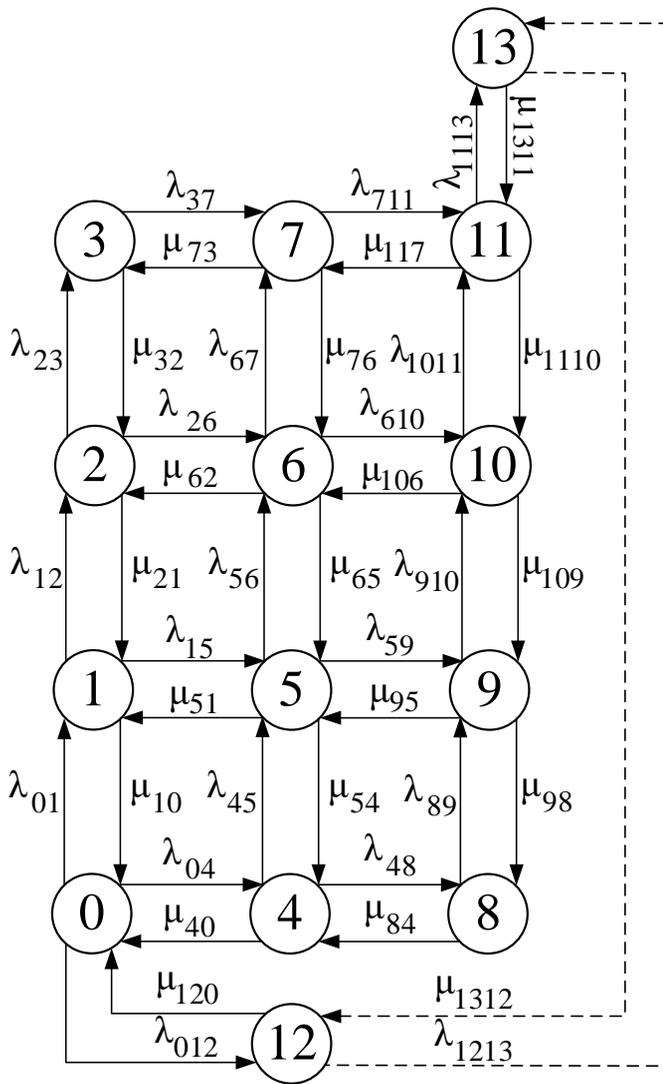
Let us indicate the normalising condition:

$$\sum_{i=0}^{10} P_i = 1.$$

Let us set the following numerical values of the model parameters – failure and recovery intensities:  $\lambda_{01} = 0,009 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{12} = 0,008 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{25} = 1 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{58} = 1 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{78} = 1,89 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{67} = 1,29 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{36} = 0,0011 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{03} = 0,011 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{34} = 0,9 \cdot 10^{-6}$ ,



Pic. 4. A functional model of a base station with two sectors, three circuit groups and a switch (compiled by the authors).



**Pic. 5.** The graph of states of the operability model of a base station with two sectors, three circuit groups and a switch (compiled by the authors).

$\lambda_{14} = 0,115 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{45} = 0,205 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{47} = 0,145 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{09} = 0,0019 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{910} = 0,01 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{810} = 0,122 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{10} = 9,99 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{21} = 9,77 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{32} = 2,63 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{85} = 3,45 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{87} = 2,21 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{76} = 1,01 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{63} = 4,56 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{30} = 9,99 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{43} = 4 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{41} = 9 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{54} = 1,01 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{74} = 5 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{90} = 9,89 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{109} = 1,11 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{108} = 2 \cdot 10^{-6}$ . The choice of the model parameters is due to achievement of the maximum value of the probability of the operational state of the BS (state 0).

Next, the resulting system of equations is calculated by the Gauss–Seidel iterative method.

The obtained values are presented below:

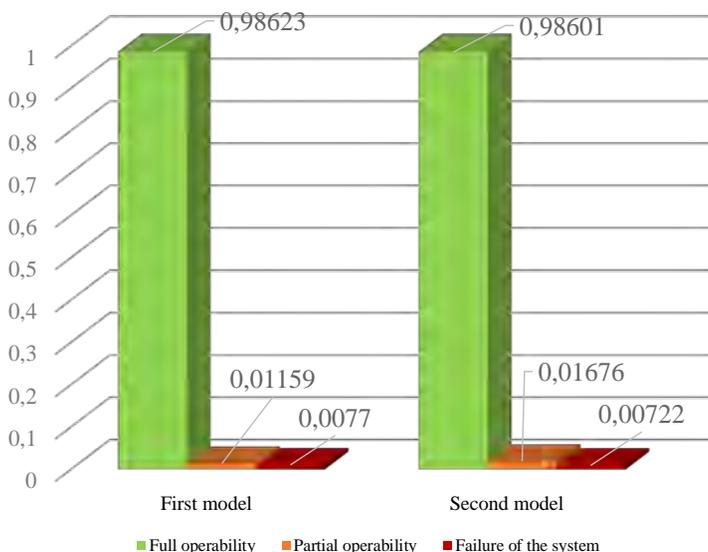
$P_0 = 0,98623$ ;  $P_1 = 0,00496$ ;  $P_2 = 0,00066$ ;  $P_3 = 0,00663$ ;  $P_4 = 0,00445$ ;  $P_5 = 0,00270$ ;  $P_6 =$

$0,00019$ ;  $P_7 = 0,00107$ ;  $P_8 = 0,00079$ ;  $P_9 = 0,00189$ ;  $P_{10} = 0,00037$ .

Thus, the probability of operability of all components of the base station will be  $P_0 = 0,98623$ . The probability of the base station operability with deterioration in quality of service will be  $P_1 + P_3 + P_4 = 0,01159$ . The probability of the base station not performing its functions will be  $P_2 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 + P_9 = 0,00733$ , and the worst outcome is possible with the probability  $P_{10} = 0,00037$ .

Next, we will consider a functional model of a BS of a digital radio communication network of a different type, the model of which is shown in Pic. 4. This model employs three circuit groups which are designated by numbers 4–6.





Pic. 6. Diagram of BS operability (compiled by the authors based on the results of the proposed calculation).

Let's construct a new graph of possible transitions between the states of BS operability (Pic. 5).

In this model, we select 13 discrete states:

0 – Both sectors of the base station are operational, all circuit groups are operational, switching is in progress.

1 – Both sectors of the base station are operational, one of the circuit groups is faulty, switching is in progress.

2 – Both sectors of the base station are operational, both circuit groups are faulty, switching is in progress.

3 – Both sectors of the base station are operational, all circuit groups are faulty, switching is in progress.

4 – Only one of the sectors of the base station is operational, all circuit groups are operational, switching is in progress.

5 – Only one of the sectors of the base station is operational, one of the circuit groups is faulty, switching is in progress.

6 – Only one of the sectors of the base station is operational, both circuit groups are faulty, switching is in progress.

7 – Only one of the sectors of the base station is operational, all circuit groups are faulty, switching is in progress.

8 – Both sectors of the base station are inoperative, all circuit groups are in good order, switching is in progress.

9 – Both sectors of the base station are inoperative, one of the circuit groups is faulty, switching is in progress.

10 – Both sectors of the base station are inoperative, both circuit groups are faulty, switching is in progress.

11 – Both sectors of the base station are inoperative, all circuit groups are faulty, switching is in progress.

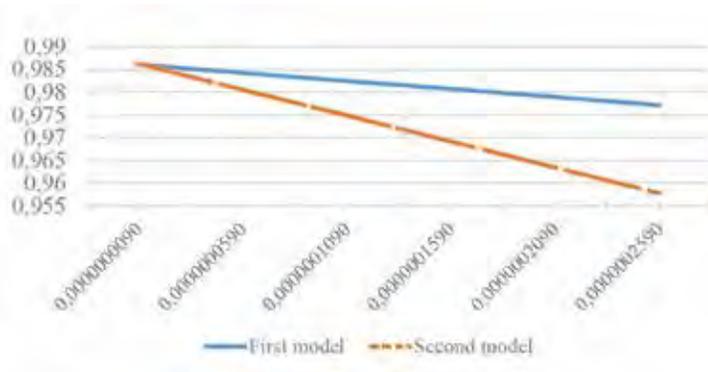
12 – Both sectors of the base station are operational, all circuit groups are operational, switching is not performed.

13 – Both sectors of the base station are inoperative, all circuit groups are faulty, switching is not performed.

State 0 indicates that the system is fully operational. States 1, 2, 4, 5 and 6 indicate that a significant failure of its components has occurred in BS, but it functions as intended with a deterioration in quality of service. In states 3, 7–12, the system is considered inoperative, even when its individual components are functioning. End state 13 indicates complete failure of base station components.

For the new model, the system of equations will look like this:

$$\begin{aligned}
 P_0(\lambda_{01} + \lambda_{012} + \lambda_{04}) &= P_{10}\mu_{10} + P_{12}\mu_{120} + P_{4}\mu_{40}; \\
 P_1(\mu_{10} + \lambda_{12} + \lambda_{15}) &= P_0\lambda_{01} + P_2\mu_{21} + P_5\mu_{51}; \\
 P_2(\mu_{21} + \lambda_{26} + \lambda_{23}) &= P_1\lambda_{12} + P_6\mu_{62} + P_3\mu_{32}; \\
 P_3(\lambda_{37} + \mu_{32}) &= P_7\mu_{73} + P_2\lambda_{23}; \\
 P_4(\mu_{40} + \lambda_{45} + \lambda_{48}) &= P_0\lambda_{04} + P_5\mu_{54} + P_8\mu_{84}; \\
 P_5(\mu_{54} + \mu_{51} + \lambda_{56} + \lambda_{59}) &= P_4\lambda_{45} + P_1\lambda_{15} + P_6\mu_{65} + P_9\mu_{95}; \\
 P_6(\mu_{65} + \mu_{62} + \lambda_{67} + \lambda_{610}) &= P_5\lambda_{56} + P_2\lambda_{26} + P_7\mu_{76} + P_{10}\mu_{106}; \\
 P_7(\mu_{76} + \lambda_{711} + \mu_{73}) &= P_6\lambda_{67} + P_{11}\mu_{117} + P_3\lambda_{37};
 \end{aligned}
 \tag{2}$$



Pic. 7. The graph of dependence  $P_0 = f(\lambda_{01})$  (compiled by the authors based on the results of the proposed calculation).

$$P_8(\mu_{84} + \lambda_{89}) = P_4\lambda_{48} + P_9\mu_{98};$$

$$P_9(\mu_{98} + \mu_{95} + \lambda_{910}) = P_8\lambda_{89} + P_5\lambda_{59} + P_{10}\mu_{109};$$

$$P_{10}(\mu_{109} + \mu_{106} + \lambda_{1011}) = P_9\lambda_{910} + P_6\lambda_{610} + P_{11}\mu_{1110};$$

$$P_{11}(\mu_{1110} + \mu_{117} + \lambda_{1113}) = P_{10}\lambda_{1011} + P_7\lambda_{711} + P_{13}\mu_{1311};$$

$$P_{12}(\mu_{120} + \lambda_{1213}) = P_0\lambda_{012} + P_{13}\mu_{1312};$$

$$P_{13}(\mu_{1311} + \mu_{1312}) = P_{11}\lambda_{1113} + P_{12}\lambda_{1213};$$

$$\sum_{i=0}^{14} P_i = 1.$$

For the model with three circuit groups, let us set the following values of failure and recovery intensities, which practically do not differ from the parameters of the model with two circuit groups:  $\lambda_{01} = 0,009 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{12} = 0,008 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{37} = 1,5 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{711} = 1,11 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{1113} = 0,111 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{67} = 1,29 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{1011} = 1,11 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{23} = 1,24 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{89} = 2,14 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{48} = 1,11 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{45} = 0,205 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{04} = 0,011 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{15} = 1,67 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{910} = 0,01 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{59} = 1,222 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{56} = 1,246 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{26} = 2,456 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{012} = 0,01 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{1213} = 0,111 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_{610} = 2 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{10} = 9,99 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{21} = 9,77 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{73} = 2,12 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{117} = 0,1 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{1311} = 5,55 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{76} = 1,01 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{1110} = 8,76 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{32} = 1,11 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{98} = 1,234 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{84} = 9,99 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{54} = 1,01 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{40} = 99 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{51} = 1,5464 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{109} = 1,11 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{95} = 2,1453 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{65} = 8,76 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{120} = 9,99 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{1312} = 900 \cdot 10^{-6}$ ,  $\mu_{106} = 5,67 \cdot 10^{-6}$ .

The obtained values are presented below:

$$P_0 = 0,98601; P_1 = 0,00875; P_2 = 0,00414; P_3 = 0,00311; P_4 = 0,00032; P_5 = 0,00213095; P_6 = 0,00140; P_7 = 0,00119; P_8 = 0,00013; P_9 = 0,00105; P_{10} = 0,00053696; P_{11} = 0,00017; P_{12} = 0,00098; P_{13} = 0,00002.$$

Thus, the probability of operability of all components of the base station will be  $P_0 = 0,98601$ . The probability of the base station operability with deterioration in the quality of service will be  $P_1 + P_2 + P_4 + P_5 + P_6 = 0,01676$ .

The probability of the base station not performing its functions will be  $P_3 + P_7 + P_8 + P_9 + P_{10} + P_{11} + P_{12} = 0,0072$ , and the worst outcome is possible with the probability  $P_{13} = 0,00002$ .

Next, let's compare the results. The probabilities of operability of each model are shown in the diagram (Pic. 6). In the results obtained, we admit an error inherent in iterative methods for solving a system of equations.

Now let's consider how the full operability of BS will change with a change in intensity of the flow of failures  $\lambda_{01}$ . The results obtained for each model are shown in Pic. 7.

Based on the results obtained, the following conclusions can be drawn:

- The model with 3 circuit groups is less reliable with a difference of 0,02 %.
- The probability of partial operability of BS is higher in the second model.
- The probability of complete BS failure in the second model is less than in the first model.
- With an increase in intensity of the flow of failures  $\lambda_{01}$  by 2 times, full operability of BS for the first model decreases by about 0,18 %, and for the second model by 0,05 %. From this we conclude that the presence of the third circuit groups reduces the probability of BS not performing its functions.

It can also be assumed that with radio coverage of neighbouring cells, the probability of operability of the entire digital radio communication network will increase.

## CONCLUSIONS

The developed models are of practical value and can be used for designing railway digital radio communication networks, as well as for calculation of quality characteristics of the existing network. To improve the accuracy of calculations, the obtained values of full or partial



operability can be used together with the first Erlang formula, which determines the probability of blocking calls for a given specific load and the number of channels. The product of two probabilities will represent the final result.

When using various architectures of GSM-R standard networks described in the recommendations [5], the obtained characteristics of BS operability are supposed to be used in calculating the structural reliability of the communication network. By changing the parameters of the developed model, it is possible to choose an architecture that will be cost-effective and will provide the specified operability of the digital radio communication network.

In general, it can be assumed that the emergence of new technologies and high speeds described in [15; 16] will result in the emergence of new architectures of railway communication networks and methods for calculating their operability.

## REFERENCES

1. Elbahhar-Boukour, F., Heddebaut, M. Advanced Train Positioning/Communication System. Modern Railway Engineering, March 2018. DOI: 10.5772/intechopen.71768.
2. He, Ruisi; Ai, Bo; Wang, Gongpu; Guan, Ke; Zhong, Z.; Molisch, A.; Briso-Rodríguez, C.; Oestges, C. High-Speed Railway Communications: From GSM-R to LTE-R. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 2016, Vol. 11, pp. 49–58. DOI: 10.1109/MVT.2016.2564446.
3. Sniady, A. Communication Technologies Support to Railway Infrastructure and Operations. Ph.D. Thesis/Technical University of Denmark, 2015. DOI: 10.11581/DTU:00000010.
4. Xu, Shengfeng; Zhu, Gang; Ai, Bo; Zhong, Zhangdui. A Survey on High-Speed Railway Communications: A Radio Resource Management Perspective. *Computer Communications*, 2016, Vol. 86. DOI: 10.1016/j.comcom.2016.04.003.
5. Report ITU-R M.2395-0 (11/2016). Introduction to railway communication systems. [Electronic resource]: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2395-2016-PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2395-2016-PDF-E.pdf). Last accessed 12.01.2021.
6. Sniady, A., Soler, J. LTE for railways: Impact on performance of ETCS railway signaling. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 2014, Vol. 9, No. 2, pp. 69–77. DOI: 10.1109/MVT.2014.2310572.
7. Safonova, I. E., Kazansky, N. A., Nemtsov, Yu. V., Pankina, K. E. Application of 5G technology using the example of a heterogeneous network [Primenenie tekhnologii 5G na primere heterogennoi seti]. *Avtomatika, svyaz, informatika*, 2019, Iss. 10, pp. 18–21. DOI: 10.34649/AT.2019.10.10.002.
8. Roenkov, D. N., Shmatchenko, V. V., Plekhanov, P. A. Radio communication systems of high-speed railway transport [Sistemy radiosvyazi vysokoskorostnogo zheleznodorozhnogo transporta]. *Byulleten rezultatov nauchnykh issledovaniy*, 2017, pp. 57–68. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemy-radiosvyazi-vysokoskorostnogo-zheleznodorozhnogo-transporta/pdf>. Last accessed 12.01.2021.
9. Shneps-Shneppe, M. A., Kupriyanovsky, V. P. Mobile network GSM-R – the basis of the digital railway [Mobilnaya set' GSM-R – osnova tsifrovoy zheleznoi dorogi]. *Sovremennye informatsionnye tekhnologii i IT-obrazovanie*, 2016, Vol. 12, Iss. 1, pp. 222–231. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/mobilnaya-set-gsm-r-osnovatsifrovoy-zheleznoy-dorogi/pdf>. Last accessed 12.01.2021.
10. Kazansky, N. A., Nemtsov, Yu. V. Models for calculating survivability of mobile communication networks in emergency situations in transport [Modeli rascheta zhivuchesti setei molinoi svyazi v usloviyakh chrezvychainykh situatsii na transporte]. *Informatizatsiya i svyaz*, 2018, Iss. 2, pp. 17–20. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-vychisleniya-zhivuchesti-setey-mobilnoy-svyazi-na-transporte-pri-otkaze-bazovykh-stantsiy/pdf>. Last accessed 12.01.2021.
11. Dymarskiy, Ya. S., Krutyakova, N. P., Yanovsky, G. G. Management of communication networks: principles, protocols, applied tasks [Upravlenie setyami svyazi: printsipy, protokoly, prikladnye zadachi]. Moscow, ITC «Mobile communications», 2003, 384 p. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19580168>. Last accessed 12.01.2021.
12. Slabnov, V. D. Numerical methods: Textbook [Chislennye metody: Uchebnik]. St. Petersburg, Lan' publ., 2020, 392 p. [Electronic resource]: <https://mirlib.ru/knigi/programming/463498-chislennye-metody-2020.html>. Last accessed 12.01.2021.
13. Krylov, V. V., Samokhvalova, S. S. Teletraffic theory and its applications [Teoriya teletrafika i ee prilozheniya]. St. Petersburg, BHV-Petersburg, 2005, 288 p. [Electronic resource]: <https://bookree.org/reader?file=596396>. Last accessed 12.01.2021.
14. Irazábal González, J. Numerical modelling of railway ballast using the discrete element method. Thesis for: Master's degree in Numerical Methods in Engineering, 2015. DOI: 10.13140/RG.2.2.20125.31200.
15. Ai, Bo; Cheng, Xiang; Kürner, T.; Zhong, Zhang-Dui; Guan, Ke; He, Ruisi; Xiong, Lei; Matolak, D.; Michelson, D. G.; Briso-Rodríguez, C. Challenges Toward Wireless Communications for High-Speed Railway. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2014, Vol. 15, No. 5, pp. 2143–2158. DOI: 10.1109/TITS.2014.2310771.
16. Zhou, Yuzhe; Ai, Bo. Handover Schemes and Algorithms of High-speed Mobile Environment: a Survey. *Computer Communications*, 2014, Vol. 47, pp. 1–15. DOI: 10.1016/j.comcom.2014.04.005.

### Information about the authors:

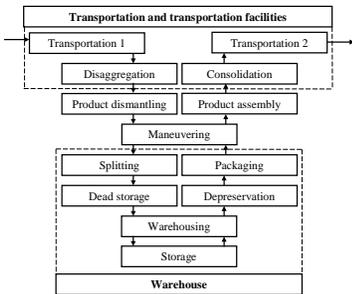
**Nemtsov, Yuri V.**, Ph.D. student at the Department of Quality Management of Russian University of Transport, Moscow, Russia, [rut1408@mail.ru](mailto:rut1408@mail.ru).

**Seryogin, Igor V.**, Ph.D. student at the Department of Operations Management and Transport Safety of Russian University of Transport, Moscow, Russia, [uvs-97@mail.ru](mailto:uvs-97@mail.ru).

**Volnov, Petr I.**, Ph.D. student at the Department of Railway Stations and Transport Hubs of Russian University of Transport, Moscow, Russia, [volnovpetr1840@gmail.com](mailto:volnovpetr1840@gmail.com).

Article received 26.05.2020, revised 12.01.2021, approved 21.04.2021, accepted 23.04.2021.

# T



## USTAINABLE MANAGEMENT

192

Classification of the objects and sustainability of supply chain. Efficient interaction of suppliers and consumers.



## CARGO TRANSPORTATION

199

Documents and electronic document interchange.

## ECONOMICS



## INVENTORY MANAGEMENT

206

Solutions to logistics problems under conditions of stochastic time and demand.





# Classification of Objects of Supply Chain Management to Ensure Their Sustainability



Evgenia A. TARASENKO

*Evgenia A. Tarasenko*<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Economics of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia.

<sup>2</sup> Orenburg State Transport University, Orenburg branch of Samara State Transport University, Orenburg, Russia.

✉ [t\\_e\\_a\\_t@mail.ru](mailto:t_e_a_t@mail.ru).

## ABSTRACT

Classifications of objects of supply chain management create the basis for managing their sustainability. The author proposes a hierarchy of priorities regarding managed objects – systems, processes and relations, which implies creation of adequate anti-crisis measures for operational management of resource flows.

The objectives of the study are to clarify and supplement classifications of supply chain management objects based on their qualitative characteristics. The tasks of the study are to identify the problems of classification of objects of supply chain management, to determine the prerequisites and to determine ways to solve these problems.

The methodological basis of the research is formed by the provisions of logistics as a science of resource flow management

and supply chain management as a science of managing systems and processes of creating value for end users of products and/or services.

Logical-structural methods and tools of binary matrices have allowed to develop classifications of flows of the first (A) and second (B) levels, creating basis for adoption of codes of those flows indicating types of systems and processes and ensuring thus their sustainability. The proposed hierarchy of prioritisation of managed objects reveals the dependences that govern the anti-crisis measures of operation management of resource flows. The research results make it possible to eliminate the contradictions between the goals of the supply chain links (suppliers) and requirement chains (consumers) and, on this basis, to organise their effective interaction.

**Keywords:** flow, integrated flow, flow sustainability, process, supply chain, value.

*For citation:* Tarasenko, E. A. Classification of Objects of Supply Chain Management to Ensure Their Sustainability. World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 2 (93), pp. 192–198. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-7>.

**The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.**  
**Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.**

## INTRODUCTION

The term «supply chain» refers to terms, the essence and content of which are still not entirely clear. On the one hand, the supply chain is defined as «a group of independent organisations connected together through the products and services that they separately and/or jointly add value on in order to deliver them to the end consumer» [1]. On the other hand, a supply chain is «a complex network of relationships that organizations maintain with trading partners to source, manufacture, and deliver products. It encompasses all activities associated with flow and transformation of goods and services from the point of origin, through to the end user, as well as the associated information and financial flows» [2]. The ambiguous interpretation of the term «supply chain» imposes serious restraints on the theory and methodology of sustainable supply chain management (hereinafter – SSCM).

The *objective* of the study is to clarify and supplement classifications of supply chain management objects, such as flows, enterprises, relationships between them and processes based on their qualitative characteristics, formed based on the components of the logistics complex, which include quality, quantity, costs, time, territory, and trajectory. Achievement of the set goals is ensured through binary matrices formed based on a set of actual qualitative features and their dichotomies which are two opposite states of these features.

This makes it possible to clarify the content of the management system for supply chain management components based on a systematic approach, as well as to create necessary theoretical

prerequisites for increasing its efficiency in highly competitive markets.

The *methodological* basis of the research is made up of logical-structural methods, such as analysis and synthesis, induction and deduction, grouping, typology and classification, and binary matrices are used as a research tool, which makes it possible to unambiguously characterise the objects of supply chain management.

## RESULTS

### Clarifying and Supplementing Classifications of Objects of Supply Chain Management

A very significant aspect contributing to achievement of the research objective is the definition of SSCM as management of material, information and capital flows, as well as cooperation between companies along the entire supply chain, considering the goals... of three dimensions of sustainable development, i.e., economic, environmental and social factors, taking into account the requirements of customers and stakeholders [3].

In the above definition, the term «flow» is used, which, according to a number of authors, is the object of logistics research [4].

Thus, classification of supply chain management objects can be used to ensure sustainability of resource flows.

The specificity of managing stability of resource flows is determined by their type. Various classifications of flows have been proposed [5–9]. Nevertheless, within the framework of sustainability management, it is advisable to refine these classifications using the following qualitative characteristics:

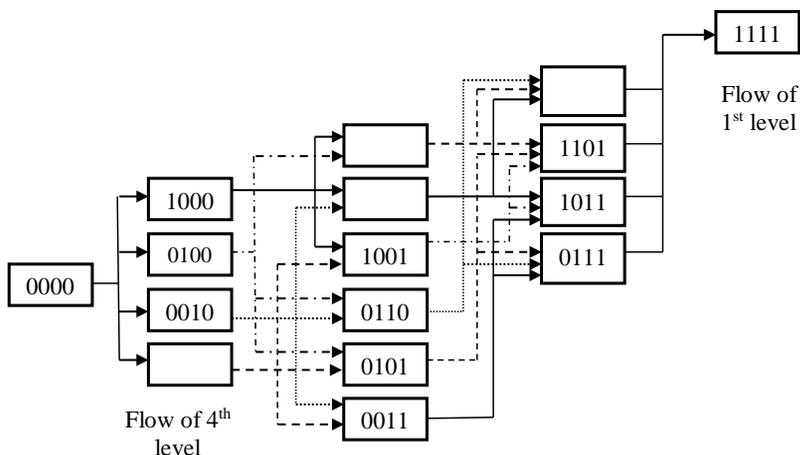


Fig. 1. Sequence and variants of formation of an integrated flow of resources (developed by the author).



**Classification of variants of the integrated flow of resources  
(developed by the author)**

Material flow (not taken into account – 0, taken into account – 1)	Information flow (not taken into account – 0, taken into account – 1)	Financial flow (not taken into account – 0, taken into account – 1)	Human flow (not taken into account – 0, taken into account – 1)	Code of resource flow
0	0	0	0	0000
0	0	0	1	0001
0	0	1	0	0010
0	0	1	1	0011
0	1	0	0	0100
0	1	0	1	0101
0	1	1	0	0110
0	1	1	1	0111
1	0	0	0	1000
1	0	0	1	1001
1	0	1	0	1010
1	0	1	1	1011
1	1	0	0	1100
1	1	0	1	1101
1	1	1	0	1110
1	1	1	1	1111

- Type of resource flow object: real; not material.

- Factors of activity of links of the supply chain: economic, managerial ones.

These signs of classification (type «A») make it possible to distinguish four types of resource flows: material, information, financial, and human flows. The use of human flows as flows (Pic. 1) is due to the opinion of A. Halley, A. Guilhon [10] that «logistics is based on sustainable human resource management».

If we imagine the process of forming the structure of an integrated flow as a sequential combination of flows of the same level (jets), then on the basis of four types of flows identified above, 16 variants of the integrated flow can be obtained (Table 1).

As follows from Table 1, based on the fourth level of flows with codes 0001, 0010, 0100, and 1000, six third-level flows, four second-level flows and one first-level flow (integrated flow) can be obtained. The sequence and options for formation of an integrated flow are shown in Pic. 1. The formation of an integrated flow can occur in parallel, bypassing one or another level [11]. It is expedient to consider the flows of the lower level in relation to the flows of the higher level as jets. When managing resource flows, each of flows is characterised by a level of stability, which can change under the influence of the internal and external environment, which implies establishment and monitoring of priorities for

managing certain jets of resource flows. The priorities of jets of flows imply their classification of type «B» using the attributes: the relation of the flow to the value of the end user (creation; accompaniment); type of link forming the flow (absorbing link; generating link); the influence of the flow on quality of the value (determining; secondary impact) (Table 2).

Data of Tables 1 and 2 create the prerequisites for creation of resource flow codes that are convenient for the use with the help of computer support within the digitalisation of supply chain management. So, for example, the code «1100–010» means an auxiliary integrated flow (third level), which includes material and information flows (jets). For a detailed understanding of types of flows of Table 2 Table 3 was developed, specifying their types using the example of «the value of clean clothes for the end user».

Let's define these parameters and characteristics of the flow using the example of the flow of material resources.

First, it is necessary to identify objects of the flow of this type based on the following classification features: purpose of the flow object (maintaining value; value delivery); relation of the flow object to the value (creation; accompaniment). It is possible to differentiate the following objects of material flow: products (value carriers), containers (packaging), vehicle and loading-unloading devices.

Based on the modern works developing the model of marketing mix whose foundations have

Table 2

**Classification «B» of flows of resources (developed by the author)**

Ratio of the flow to the end user value (creation – 0, maintenance – 1)	Type of the link that forms the flow (absorbing link – 0, generating link – 1)	Influence of the flow on quality of the value (determining impact– 0, minor impact – 1)	Flow type
0	0	0	Main
0	0	1	Optional
0	1	0	Auxiliary
0	1	1	Indirect
1	0	0	Accompanying
1	0	1	Side
1	1	0	Supportive
1	1	1	Utility

Table 3

**Components of the flow with the code «1100–010» using the example of «The value of clean clothes for the end user» (developed by the author)**

Flow type	Example of an object	
	Material flow	Information flow
Main	Washing machine	Instruction manual
Optional	Houses for water and its drain down the drain	Recommendations for installation of houses for water
Auxiliary	Vehicle to move a washing machine and washing powder to the place of their sale	Information about the location of the purchaser of the washing machine and washing powder
Indirect	Loading-unloading devices of the manufacturer and the consumer	Safety instruction for operation of loading-unloading devices
Accompanying	Washing powder	Data on consumption of washing powder
Side	Dispenser for washing powder	Price data for dispenser for washing powder
Supportive	Fuel and lubricants for a vehicle and loading-unloading devices	Fuel consumption standards for a vehicle and loading-unloading devices
Utility	Pull attachments	Load limit information and checking of pull attachments

been created in the works of E. J. McCarthy devoted to 4P's [12], it is possible to reveal several enlarged quantitative parameters of flows (Table 4).

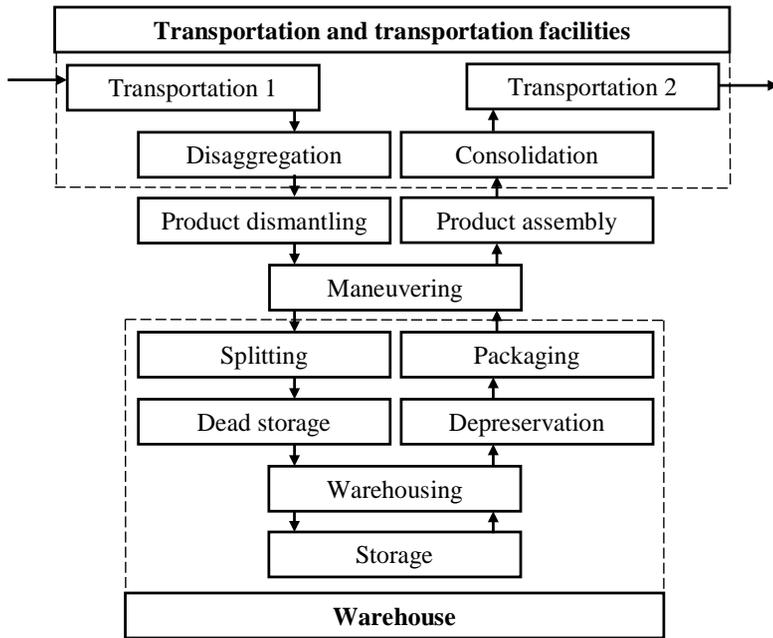
As can be seen from Table 4, in addition to the parameters «quantity», «quality», «costs» and «time», it is proposed to use the parameters «trajectory» and «territory». It is easy to see that these parameters concretise the «place» component of the marketing [13]. The parameter «trajectory» is used in trajectory-based management to generalise, update and implement the description of transport processes at all stages of strategic and tactical coordination and operation [14]. The «territory» parameter assumes focus on economically justified boundaries of the activity of the supply chain link. For example, when the growth in sales of products and/or services is constrained by an increase in transportation costs for their delivery to the end consumer [14].

## SUSTAINABILITY MANAGEMENT

Flow sustainability management is provided by enterprises which are links in the supply chain. These links form systems of various configurations depending on the requirements of end consumers. The type of links and their geographic locations form the trajectories along which resources move. Classification of the links in the supply chain, based on such classification features as tasks of the links in the supply chain (value creation and maintenance), priority type of goods (product; service), allows us to highlight the technological, trade, logistics links and infrastructure links [15].

The movement of resource flows is provided by processes (operations), which can also be assessed from the standpoint of their sustainability and impact on management of resource flows. These processes can be distinguished using the classification features: state of resource flow objects (rest and movement); stability of resource





*Pic. 2. Sequence of processes (operations) of management of material resources flows (developed by the author).*

flow parameters (parameters do not change and do change). Based on these features, the following resource flow management processes are formed: transportation, storage, packaging (picking), and consolidation/unbundling. In some cases, it is advisable to move from processes (Pic. 5) to operations. If we use such classification signs as location of the product (outside the storage area (vehicle) and in the storage area (vehicle)), type of flow object (product and loading and unloading device), it is possible to distinguish operations that link storage and transportation of products: depreservation (removal from long-term storage)/preservation, storage (manoeuvring), installation/dismantling and waiting.

The totality of the processes and operations highlighted above allows us to draw the following conclusions. Only logistic processes (operations) are considered. If necessary, technological and other types of processes (operations) can be added to them. Evaluation of flow sustainability management should be carried out over a time interval that assumes that several processes are performed by supply chains. If we take the warehouse form of movement of resources according to the scheme «transportation–storage–transportation» as a basis, then it is possible to form a sequence of processes (operations) for managing resource flows (Pic. 2).

During movement of the material flow (if it is the main one), the accompanying flows are also moving (Table 1). The stability of accompanying flows can significantly affect stability of the main flow. By analogy with the above classifications of processes related to material flow management, the processes accompanying information, financial and human flows can also be identified (Table 5).

Analysis of the contents of Table 5 allows us to draw the following conclusions. Each of the processes (operations) of resource flow management can be structured into components. When controlling an integrated flow, at a certain point in time, several processes (operations) can be performed with flows (jets) entering it, differing in parameters and characteristics, which requires their joint analysis. Each of flows can be denoted by a code similar to the code used for a material flow. The flow code is constantly changing during its movement, including due to changes in the parameters of the accompanying flows. An integrated flow can be designated by a four-level code, depending on the types of flows (jets) included in it, identified according to the classifications «A» and «B». Moreover, each of flows (jets) includes flows (jets) of the lowest level with their corresponding codes. The topic of coding resource flows and the methodology for its use is the topic of a separate study.

Table 5

**Classification of processes accompanying information, financial and human flows  
(developed by the author)**

Flow types	Classification features	Processes
Information	<ul style="list-style-type: none"> <li>• type of link in the information supply channel: sender, recipient.</li> <li>• aspect of work with information flow: managerial and technical.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• structuring information, preparing a message.</li> <li>• choice of information transmission method and its coding.</li> <li>• transmission of information and its decoding.</li> <li>• processing of the received information.</li> </ul>
Financial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• type of link in the supply chain of financial resources: the sending bank; beneficiary bank (1).</li> <li>• aspect of work with financial flow: economic; technical.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• writing off by the consumer's bank of financial resources from the consumer's account.</li> <li>• transfer of financial resources by the consumer's bank to the supplier's bank.</li> <li>• crediting financial resources to the supplier's account.</li> <li>• receipt of financial resources by the supplier.</li> </ul>
Human	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stage of human flow formation: analytical and practical.</li> <li>• levels of coordination of the parameters of the human flow: process operations.</li> <li>• knowledge, skills, and abilities – human resources.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• research of the content of operations of the process and determination of the list of resources for its implementation.</li> <li>• justification of knowledge, skills and abilities of human resources to carry out the operations of the process.</li> <li>• training and/or attracting human resources of the relevant profession and qualifications.</li> <li>• formalising relationships with human resources and familiarising them with the operations of the process.</li> </ul>

Table 6

**Parameters of managed objects (developed by the author)**

Parameters of managed objects	Managed objects		
	Resource flow	Resource supply chains	Processes (operations) of resource flow management
Quantity	+	+	+
Quality	+	+	+
Costs	+	+	+
Time	+	+	+
Territory		+	
Trajectory	+		

Table 7

**Hierarchy of priorities of managed objects (developed by the author)**

Quality (Q)	Quantity (K)	Costs (Z)	Time (T)	Priority of managed objects (code)
0	0	0	0	Usual (5)
0	0	0	1	Actual (4-T)
0	0	1	0	Actual as per costs (4-Z)
0	0	1	1	Significant (3-ZT)
0	1	0	0	Actual as per quantity (4-K)
0	1	0	1	Significant (3-KT)
0	1	1	0	Significant (3-KZ)
0	1	1	1	Important (2-KZT)
1	0	0	0	Actual as per quality (4-Q)
1	0	0	1	Significant (3-QT)
1	0	1	0	Significant (3-QZ)
1	0	1	1	Important (2-QZT)
1	1	0	0	Significant (3-QK)
1	1	0	1	Important (2-QKT)
1	1	1	0	Important (2-QKZ)
1	1	1	1	Especially important (1)



Thus, sustainability of resource flows is a criterion for sustainability of supply chains, requirement chains, value chains, and the processes that these chains perform. By analogy with the data in Table 4, each of the managed objects listed above can be assessed by six basic quantitative parameters (Table 6). Each of the objects of management presented in Table 6 (first of all, the flow of resources) has a priority, which is formed on the basis of stability of their parameters. These priorities form a hierarchy both at the stage of preparation for creating value for the final consumer of products and/or services, as well as at the stage of operational management of facilities. Based on four parameters of managed objects, five levels of priorities can be distinguished: usual, actual, significant, important and especially important (Table 7).

## CONCLUSIONS

As a result of the research carried out, classifications of flows of the first («A») and second («B») levels have been developed that seem to be of research novelty/ The classifications create the basis for using the codes of these flows indicating the types of systems and processes that ensure their stability.

The hierarchy of priorities of managed objects has been suggested depending on which anti-crisis measures of operational management of resource flows are implemented.

The developed approaches allow to eliminate contradictions between the links of the supply chain and the requirement chain that achieve their own goals and are interested in reducing the lost profit, to organise their interaction within the framework of managing relationships with suppliers and consumers, to create and maintain a system for monitoring sustainability of the flow of resources, as well as introduce anti-crisis measures to prevent a decline in the values of end consumers.

## REFERENCES

1. Lu, D. Fundamentals of Supply Chain Management, 2011. [Electronic resource]: <https://library.ku.ac.ke/wp-content/downloads/2011/08/Bookboon/Magement%20andOrganisation/fundamentals-of-supply-chain-management.pdf>. Last accessed 12.01.2021.
2. Chen, Hwei-Huang; Liu, Kuo-Shean; Chen, Shih-Chih; Chang, Chan-Yen; Hsieh, Kai-Shih; Yang, Wang. An overview of workflow management system structure in the supply chain. *Australian Journal of Business and Management Research*, 2012, Vol. 2, Iss. 4, pp. 12–19. [Electronic resource]: <http://www.ajbmr.com/articlepdf/aus-24-04i4n2a2.pdf>. Last accessed 12.01.2021.
3. Seuring, S., Muller, M. From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 2008, Vol. 16, Iss. 15, pp. 1699–1710. DOI: 10.1016/j.jclepro.2008.04.020.
4. Harrison, A., van Hoek, R. Logistics Management and Strategy: Competing through the supply chain. 3<sup>rd</sup> ed., Pearson Education Limited, 2008, 346 pp. [Electronic resource]: <https://vulms.vu.edu.pk/Courses/MGMT615/Downloads/Logistics%20Management%20and%20Strategy%20Competing%20Through%20the%20Supply%20Chain.pdf>. Last accessed 12.01.2021
5. Forrester, J. W. Industrial dynamics. *Journal of the Operational Research Society*, 1997, Vol. 48, Iss. 10, pp. 1037–1041. DOI: <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2600946>.
6. Handbook of Supply Chain Management. Ed. by Ayers, J. B. Taylor & Francis Group, CRC Press, 2000, 488 p. eBook ISBN 9780429247439. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781420025705>.
7. Croom, S., Romano, P., Giannakis, M. Supply chain management: an analytical framework for critical literature review. *European journal of purchasing & supply management*, 2000, Vol. 6, Iss. 1, pp. 67–83. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0969-7012\(99\)00030-1](https://doi.org/10.1016/S0969-7012(99)00030-1).
8. Dherment-Férel, I. Maîtrise d'ouvrage et ERP, processus logistiques, comptables et financiers. Ed. Lavoisier, Paris, 2007, 294 p.
9. Pfohl, H.-C., Gomm, M. Supply chain finance: optimizing financial flows in supply chains. *Logistics research*, 2009, Vol. 1, Iss. 3–4, pp. 149–161. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12159-009-0020-y>.
10. Halley, A., Guilhon, A. Logistics behaviour of small enterprises: performance, strategy and definition. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 1997, Vol. 27, Iss. 8, pp. 475–495. DOI: <https://doi.org/10.1108/09600039710182644>.
11. Shapiro, R. D., Heskett, J. L. Logistics Strategy: Cases and Concepts. St. Paul, Minnesota: West Publishing, 1985, 602 p.
12. Tarasenko, E. A., Karkh, D. A., Tyapukhin, A. P. Management of logistics systems: Monograph. Moscow, Ruscience, 2021, 156 p.
13. Engler, E., Gewies, S., Grunewald, E., Banyás, P. Trajectory-based multimodal transport management for resilient transportation. *Transport problems*, 2018, Vol. 13, Iss. 1, pp. 81–96. DOI: 10.21307/tp.2018.13.1.8.
14. McCarthy, E. J., Perreault, W. D. Basic marketing: a managerial approach. 10<sup>th</sup> ed., Homewood, Irwin, 1990, 734 p. ISBN 0-256-06865-8.
15. Tyapukhin, A. P. Sustainability of Resource Supply Systems. *World of Transport and Transportation*, 2019, Vol. 17, Iss. 6, pp. 142–165. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-142-165>. ●

### Information about the author:

**Tarasenko, Evgenia A.**, Researcher at Orenburg Branch of the Institute of Economics of Ural Branch of Russian Academy of Sciences; Lecturer at Orenburg Transport Institute, a branch of Samara State Transport University, Orenburg, Russia, [t\\_e\\_a\\_t@mail.ru](mailto:t_e_a_t@mail.ru).

Article received 12.01.2021, approved 21.04.2021, accepted 23.04.2021.



# Modelling and Optimisation of the Business Process of Documentary Support of Cargo Transportation for Building a Digital Document Management System



Olga V. EFIMOVA



Yuri N. SURODIN

*Olga V. Efimova<sup>1</sup>, Yuri N. Surodin<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Russian University of Transport, Moscow, Russia

<sup>2</sup> JSC Russian Railways, Moscow, Russia.

✉ <sup>1</sup> [ovefimova@mail.ru](mailto:ovefimova@mail.ru).

## ABSTRACT

The objective of the work is to analyse the examples of optimisation of documentary support system regarding rail cargo transportation based on the transition to the electronic form of documents.

The theoretical concept of modelling the business process of documentary support of cargo transportation is developed using the ARIS (Architecture of Integrated Information Systems) software, which is used for development of an integrated process model of the activities of many manufacturing and transportation companies in Russia and in the world [1].

The subject of the research is modelling of the document circulation system supporting cargo transportation to eliminate losses in a significant part of the processes of interaction with

customers. The objective of business process modelling is to use all the advantages and functionality of case tools to eliminate duplication of actions and operations that do not add value to the customers of the transport company but reduce their loyalty to the products and services of railway transportation. The studied business processes ensure formation of an application for transportation and its transformation during the transportation process.

The study reflects the results of modelling business processes for documentary support of transportation in digital form. A comparative analysis of these models is followed by description of the advantages of the electronic documents in comparison with their paper form considering a possibility of using a digital signature.

**Keywords:** electronic document management, digital technology, modelling, business process, railway transportation, cargo transportation support.

---

*For citation:* Efimova, O. V., Surodin, Yu. N. Modelling and Optimisation of the Business Process of Documentary Support of Cargo Transportation for Building a Digital Document Management System. *World of Transport and Transportation*, 2021, Vol. 19, Iss. 2 (93), pp. 199–205. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-8>.

---

**The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.  
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.**

## INTRODUCTION

Modelling of processes in any type of business, and especially in the transport sector of the economy with a predominant character of end-to-end technologies, is aimed at improving business processes and indices that serve as indicators and drivers for improving organisation performance. Modelling is one of the *methods* for analysing and improving movement of documents in an enterprise. Modelling is a description, identification, simulation and analysis of business processes, design of new processes for the purpose of their subsequent optimisation.

The cargo transportation is among core railway business processes having significant impact on economic indices of the companies in this industry. Hence, it is quite natural that cargo transportation have become one of the first fields for testing and implementing digital technology, modelling many processes including those related to document management that plays an important role in formalising relationships with cargo owners, regulatory bodies, as well as immediately during the transportation.

Research and design of information support processes for cargo transportation using modelling tools allows to:

- Represent visually, graphically the structure of the information support system for interaction with shippers.
- Describe in detail the functions of the document management system.
- Identify potential opportunities for development of document management technologies regarding railway customers.
- Identify and to analyse information links with internal and external participants in the documentary support of the transportation process.
- Optimise the technological operations of working with documents, their sequence, using the technology of describing workflows.

Modelling allows us to simplify the electronic document management system as much as possible, reflecting its most important properties and resources, which helps to eliminate losses in the business process of document circulation when using the instrumental environment as a means of optimisation and forecasting. The model, drawn up in a standard form, makes it possible to design a future process before it is reproduced in the form of software and hardware systems, which will reduce the cost of its creation

[2]. A visual representation of processes of receiving and processing information on formation of an application for transportation and its approval will eliminate the losses in efficiency and time while processing transportation documents [3].

Business modelling uses mathematical methods based on operations research (OR). The purpose of OR is to find a rational way of acting in solving organisational and managerial problems under various constraints. These problems include many linear and dynamic programming problems, inventory management, queuing theory, etc. Modern concepts of business modelling are based on a process approach to management. A huge number of publications of the theoretical nature are devoted to the process approach and implementation experience [4; 5]. The publications contain samples of business modelling, which use tools for various types of production systems and technologies [6; 7]. Thanks to the process approach and business modelling methodology, a business can be described as a set of processes, each of which can be optimised based on quality management standards, as well as on approaches allowing to eliminate losses and operations that do not add value to the customer.

The instrumental modelling tools are implemented with numerous software packages that are designed for various fields of activity. In the field of «software development and software engineering, one of the ways to represent processes is CASE (computer-aided software engineering) method» [8], which includes a set of methods, software engineering tools for software design, helping to ensure high quality support of software information systems and products [9; 10].

CASE-tools are tools designed for optimal automation of design and development processes not only for software from the standpoint of the developer's labour costs, but also for processes in other areas of activity, in particular, for describing the technologies of transportation processes. At first, CASE tools were considered only as tools that were designed to simplify the most complex and time-consuming processes of analysis and design of information systems. However, after introduction of ISO/IEC 14102 standard, CASE tools began to be defined as software tools to support the life cycle processes of digital services and software products [11].

This concept, «as a rule, is determined by the list of tasks that can be solved, as well as by set of methods and means» [12, p. 44], or, in other words, by the algorithms and formats used for describing processes for automation. CASE technology is «the totality of methodology of analysis, design, development and maintenance of complex software systems, supported by a set of interconnected automation tools» [12, p. 44].

The functional purpose of software products that are used to automate business processes of enterprises can be divided into three types: integrated corporate systems, electronic document management systems and software products for formalised presentation of business processes.

Electronic document management systems perform the functions of accounting, transfer, and storage of documents, which is of particular importance in the transport sector, where shipping documents are the basis for paying for a special type of product which is transportation, that cannot be saved or returned to the contractor.

Business process modelling software is commonly used in an organisation's reengineering projects. The same products can be used for reengineering an electronic document management system.

Process modelling starts «at the stage of analysing the requirements and constructing the relationships and structure of operations that make up the value stream in the process. These are the most poorly formalised and time-consuming stages in development of management and control systems. When any management system is being developed, the task of choosing a design tool arises, which should allow to effectively and competently solve the assigned tasks and meet all the requirements of the designers» [13]. The choice of a CASE tool largely depends on the methods of analysis and design of intelligent systems.

To support the point, we can refer to extended quotation of K. S. Myshenkov's work [13]: «Functional models perform the functions of a structured image of the environment or system, information and objects that connect these functions. These models are used when designing a new system, when analysing system requirements, when making decisions about reengineering a management system for analysing business processes.

Data flow models are needed for graphical structural analysis that describes processes external to the system, data receivers and sources,

data flows and data storage devices that are being accessed.

Business process models contain a description of workflows, business functions, departments, resources, processes, roles, media, information systems, positions. In this case, the models can be both static and dynamic since they describe the sequence and conditions for implementation of business processes. Business process models are used in implementation of management systems in enterprises, in description and reengineering of the company's activities, in analysis and definition of system requirements.

Event data models reflect the functioning of the system as of a set of states of business units or objects of labour, including significant system events aimed at their transformation. Information models of a specific subject area or its objects reflect the data structure of the systems being designed» [13].

Static models of business systems do not reflect dynamics over time. Such models have forms of presentation that at all stages of reengineering refer to classes, diagrams, components or objects of the system and their relationships with each other. Dynamic models are used for analysis, reflect the sequence of performance of system functions over time, as well as the process of changing the states of a real or projected system [13].

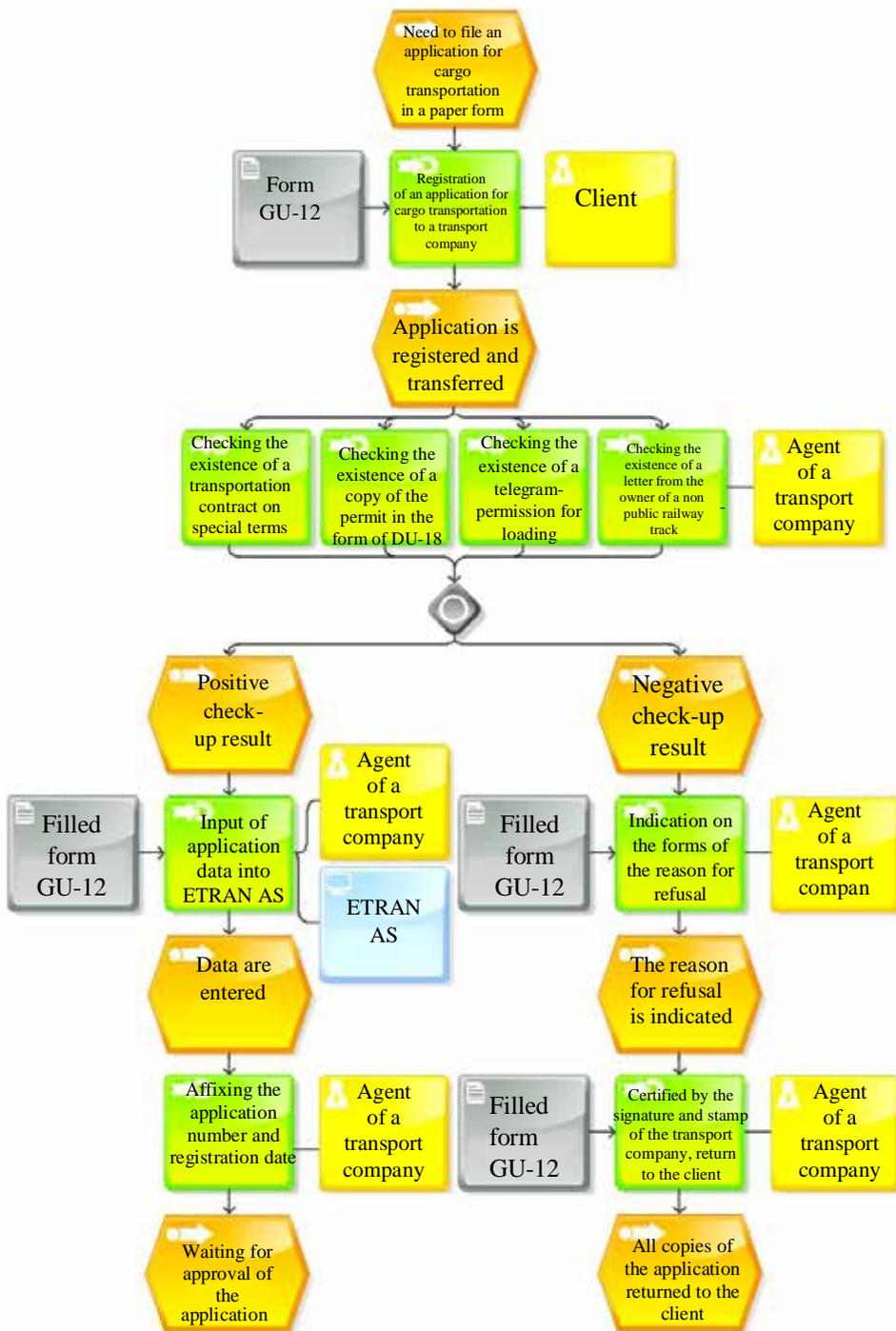
If we consider the example of Russia, then the most common software products for «modelling business processes according to the research company Gartner, which specialises in analytics of the information technology market, are the Corporate Modeler Suite and ARIS<sup>1</sup> systems provided globally by Casewise and IDS Scheer AG respectively. Corporate Modeler Suite occupies a leading position in a number of countries, but this tool, unlike ARIS, is not yet popular in the Russian market» [14].

The *objective* of the study described in the article is to consider an example of optimisation of the process of documenting cargo transportation.

The research *method* is based on ARIS (Architecture of Integrated information Systems) toolkit. ARIS has a set of software services for building a process map; several notations for describing models, namely: eEPC (extended event driven process chain) and «business

<sup>1</sup> Official website of ARIS Community. [Electronic resource]: <https://www.ariscommunity.com/>. Last accessed 12.03.2021.



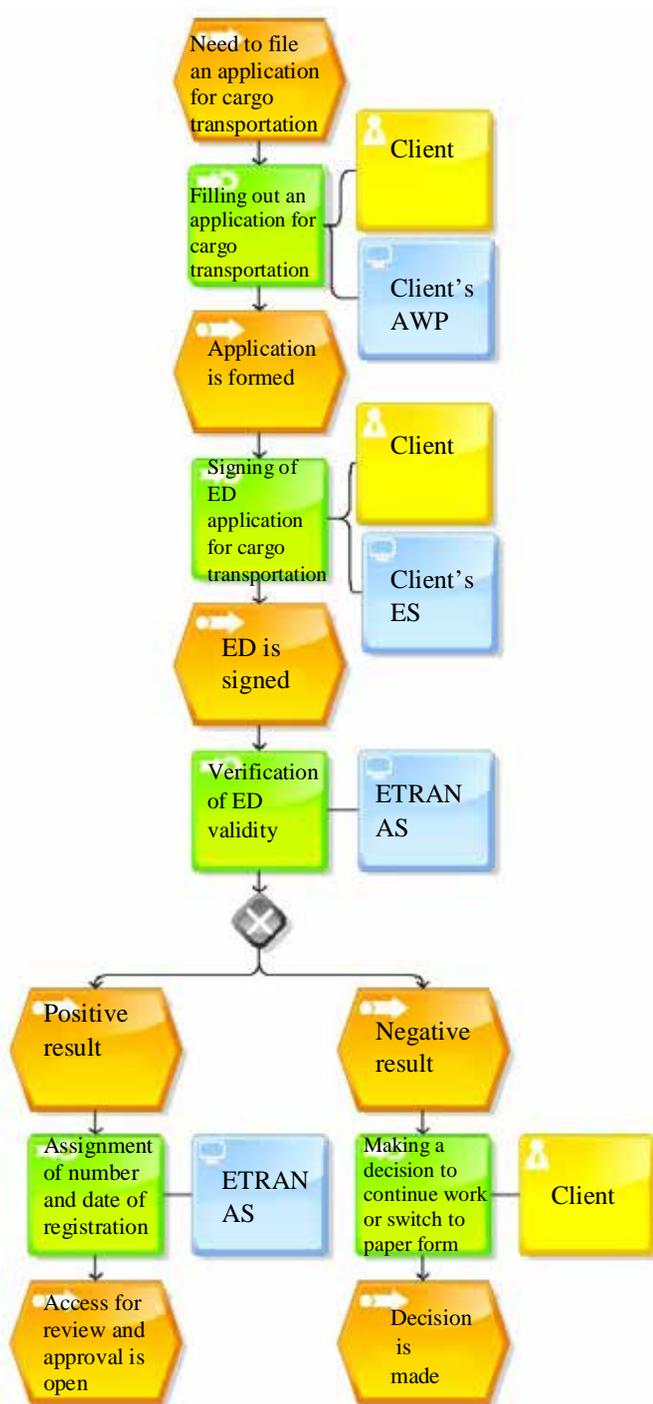


Pic. 1. The process of filing an application for transportation of goods with paper documents (compiled by the authors).

process models in BPMN notation (Business process model and notation). As part of the business capabilities of ARIS product, Smart Design function is also included, which allows us to quickly enter the necessary data for the automated creation of models» [5].

## RESULTS

The main purpose of applying the methods of modelling the business process of workflow is to increase its operational efficiency, to organise data transfer in the most optimal way, resulting in decrease in time, labour, and material



Pic. 2. The process of filing an application for transportation of goods using electronic signature (ES)(compiled by the authors).

losses, and in an increase in the level of transportation and logistics services and competitiveness.

ARIS workflow business process modelling toolkit considers the organisation from the following five aspects: «products and services,

processed data, functionality, organisation, structure of business processes. These aspects are further subdivided into three sublevels: specification description, requirements description, implementation description. When describing business processes, about 80 types of



models are used, each of which refers to one of the aspects. The main principle in ARIS is the ability to integrate models of different types within one repository by detailing objects. As a result, any organisation can be described using a hierarchy of models»: from, i.e., top-level processes to the «level of procedures and resource environment of functions» [15].

Models of the application process for transportation of goods are presented below, developed using the ARIS toolkit (Pics. 1 and 2). Comparison of business process models of document flow clearly shows the effectiveness of the electronic form of shipping documents in comparison with the paper one. To make the examples more detailed, we used some of the procedures and forms of documents used on JSC Russian Railways network.

The electronic form of documents neutralises several repetitive iterations in the course of approvals and corrections of documents, while significantly reducing time for processing documents and simplifying the approval procedure. In particular, registration of an application for transportation of goods, with paper document circulation, is reduced by eight operations performed by the agent of the transport company when filling out an application in electronic form. The entire process of approval, including five outcome options (transfer of an application with the result of approval, refusal of a partially agreed application, withdrawal of an application for transportation of goods, refusal to fulfil an agreed application, refusal to fulfil a part of an agreed application) is reduced to one client's action: entering information into the AWP (automated workstation).

The obvious advantage of electronic document interchange is the absence of the need for a customer to visit the company to confirm each operation for filing and correction of the document. The current level of technology does not allow interacting with shippers in any other way from the point of view of the client-oriented strategy of railway transport.

ETRAN (Automated System «Electronic Waybill») AS is intended to electronic document interchange in an organisation that provides for an electronic signature. Form GU-12 indicated in Pic. 1 is an application for railway transportation of goods submitted by the consignor for transportation of goods; form DU-18 is an application for transportation of goods.

The electronic document interchange system allows us to completely abandon such operations as:

- Filling of paper copies of the document.
- Unnecessary travelling of the client's representatives associated with the need to deliver paper forms.
- Correction of errors that occur when filling out forms.
- Processing associated with affixing of stamps and written filling of paper forms of documents.
- Automatic entry of data and printing of documents using a system of centralised preparation and execution of documents for transportation.
- Checking the correctness of filling and availability of the necessary documents.
- Affixing stamps and filling out the paper form in writing.
- Storage of copies of documents.
- Unnecessary travelling of the transport company employees associated with transfer of the document to the responsible agent.
- Verification by the agent of the transport company of the authority of the consignee's representative.

## CONCLUSIONS

As a result of abolition of the paper form of shipping documents, time of all the participants in the transportation process, labour and material resources of the companies are saved.

Graphical reflection and comparison of existing models of the system is not an end task itself. The analysis of presented models allows planning further adaptive transformations and forming the architecture of the digital document interchange system, which should ensure the efficiency the use of resources, processes, as well as the market efficiency of the company.

The choice of ARIS tools in building these models is due not only to its ability to create an organisation model, but also to the ability to conduct a sufficiently in-depth analysis of business processes. ARIS allows us to look at the organisation and understand where the bottlenecks of the processes have arisen, which resources are inefficiently used, and which business process chains need to be changed. Various ARIS modules allow us to dynamically consider all kinds of scenarios for execution of business processes without changing the real structure of the organisation.

Through the analysis of business processes and the definition of a conceptual scheme, it is possible to determine the main goals of the business, and before that, to identify new business processes that will need to be designed, as well as to identify weaknesses. In addition, using strategic analysis of business processes, it helps to calculate what new information technologies are possible and appropriate for implementation in the company's activities [16].

## REFERENCES

1. Information technology in management [*Informatsionnie tekhnologii v menedzhmente*]. St. Petersburg State University, 2010, 150 p. [Electronic resource]: <https://e.lanbook.com/book/47525>. Last accessed 12.03.2021.
2. Kalashyan, A. N., Kalinov, G. N. Structural business models: DFD technologies [*Strukturnie modeli biznesa: DFD-tekhnologii*]. Ed. by G. N. Kalyanov. Moscow, Finansy i statistika publ., 2009, 256 p. ISBN 5-279-02562-3.
3. Ilyin, V. V. Modelling of business processes. Practical developer experience [*Modelirovaniye biznes-protsessov. Prakticheskiy opyt razrabotchika*]. Moscow, Agency of electronic editions «Intermediator», 2015, 252 p. ISBN 978-5-8459-1338-8.
4. Taha, Kh. A. Introduction to operations research [*Vvedenie v issledovanie operatsii*]. Moscow, Williams publ., 2005, 912 p. ISBN: 978-5-8459-0740-0.
5. Kovylin, D. Yu., Novikova, V. N., Ratafiyev, S. V. Possibilities of modern tools for modelling business processes [*Vozmozhnosti sovremennykh instrumentalnykh sredstv modelirovaniya biznes-protsessov*]. *Kreativnaya ekonomika*, 2019, Vol. 13, Iss. 7, pp. 1457–1474. [Electronic resource]: <http://elibrary.ru/item.asp?id=39215614>. Last accessed 12.03.2021.
6. Repin, V. V. Business processes. Modelling, implementation, management [*Biznes-protsessy. Modelirovaniye, vnedreniye, upravleniye*]. Moscow, Mann, Ivanov and Ferber, 2014, 512 p. ISBN 978-5-91657-907-9.
7. Repin, V. V., Eliferov, V. G. Process approach to management. Business process modelling [*Protsessnyy podkhod k upravleniyu. Modelirovaniye biznes-protsessov*]. Moscow, Mann, Ivanov and Ferber, 2013, 544 p. ISBN 978-5-91657-554-5.
8. Menkova, S. E., Kramarenko, T. A. Designing the structure of a business application database using CASE-tools [*Proektirovaniye struktury bazy dannykh biznes-prilozheniya s pomoshchyu CASE-sredstv*]. *Proceedings of II All-Russian Scientific and Practical conference «Digitalisation of the economy: directions, methods, tools»*. Krasnodar, January 2020, pp. 407–409. [Electronic resource]: <http://elibrary.ru/item.asp?id=42536841>. Last accessed 12.03.2021.
9. Kuhn, D. L. Selecting and effectively using a computer aided software engineering tool. Annual Westinghouse computer symposium; 6–7 Nov. 1989; Pittsburgh, PA (USA); DOE Project.
10. Loucopoulos, P., Karakostas, V. System Requirement Engineering. London: McGraw-Hill, 1995, 160 p. ISBN 0-07-707843-8.
11. Odintsov, I. O. Professional programming. Systems approach [*Professionalnoye programmirovaniye. Sistemnyi podkhod*]. 2<sup>nd</sup> ed. St. Petersburg, BHV-Petersburg, 2004, 624 p. ISBN 5-94157-457-6.
12. Maslennikova, O. E. Automated technologies of creation of information systems: modern state, problems, perspectives. In: Problems of development and adaptation of information systems and technologies [*Avtomatizirovannyye tekhnologii sozdaniya informatsionnykh sistem: sovremennost', problem, perspektivy. Problemy razrabotki i adaptatsii informatsionnykh sistem i tekhnologii*]. Interuniversity collection of scientific articles. Under the general editorship of O. B. Nazarova. Magnitogorsk, MaSU, 2008, 186 p. [Electronic resource]: <https://booksee.org/book/805015>. Last accessed 12.03.2021.
13. Myshenkov, K. S. Methodology for substantiating the choice of CASE-tools for analysis and design of enterprise management systems [*Metodika obosnovaniya vybora CASE-sredstv dlya analiza i proektirovaniya sistem upravleniya predpriyatiyami*]. *Innovations*, 2013, Iss. 10 (180), pp. 112–122. [Electronic resource]: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22259188>. Last accessed 12.03.2021.
14. Analytics of electronic document interchange systems (EDI) and ECM. Analysis of document interchange systems [*Analitika sistem elektronnoho dokumentooborota (SED) i ESM. Analiz sistem dokumentooborota*]. [Electronic resource]: [http://www.docflow.ru/news/analytics/?SHOWALL\\_1=1/#4](http://www.docflow.ru/news/analytics/?SHOWALL_1=1/#4). Last accessed 12.03.2021.
15. ARIS methodology [*Metodologiya ARIS*]. [Electronic resource]: <http://refrend.ru/826069.html>. Last accessed 12.03.2021.
16. Sheer, A. V. ARIS – business process modelling [*ARIS – modelirovaniye biznes-protsessov*]. Moscow, Vest-MetaTehnologiya, 2009, 224 p. ISBN 978-5-8459-1449-9.
17. Eliferov, V. G., Repin, V. V. Business processes: regulation and management: Textbook [*Biznes-protsessy: reglamentatsiya i upravleniye: Uchebnik*]. Moscow, Infra-M, 2021, 319 p. ISBN 978-5-16-001825-6.
18. Kondratyev, V. V. Give us engineering. Navigator for the Professional [*Daesh inzhiniring. Navigator dlya professionala*]. Ed. by V. V. Kondratyev and V. Ya. Lorenz. Moscow, Eksmo, 2005, 174 p. ISBN 5-699-13360-7.
19. Hammer, M., Champy, D. Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution [*Reinzhiniring korporatsii. Manifest revolyutsii v biznese*]. Moscow, Mann, Ivanov and Ferber, 2006, 321 p. ISBN 978-5-902862-54-3.
20. Vendrov, A. M. Designing software for economic information systems: Textbook [*Proektirovaniye programmnogo obespecheniya ekonomicheskikh informatsionnykh sistem: Uchebnik*]. Moscow, Finance and statistics, 2006, 544 p. ISBN 5-279-02937-8.
21. Belyashov, A. N., Myshenkov, K. S. Analysis of methods for designing management systems [*Analiz metodov proektirovaniya sistem upravleniya*]. *System analysis in design and management: Proceedings of XVII International scientific-practical conference*. Part 2. St. Petersburg, Publishing house of Polytechnic University, 2013, pp. 3–6. ●

### Information about the authors:

**Efimova, Olga V.**, D.Sc. (Economics), Professor of Russian University of Transport, Moscow, Russia, [ovefimova@mail.ru](mailto:ovefimova@mail.ru).

**Surodin, Yuri N.**, acting Chief Engineer of the Centre for corporate transport services (CCTS), a branch of JSC Russian Railways, Moscow, Russia, [shalaknom3@yandex.ru](mailto:shalaknom3@yandex.ru).

Article received 08.02.2021, approved 21.04.2021, accepted 23.04.2021.





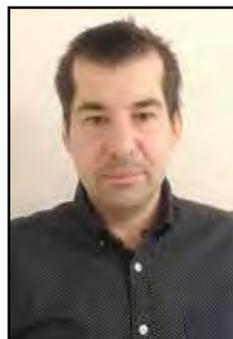
# Optimisation of Inventory Levels as Logistics Challenge



Vitaly S. ANTIPENKO



Nikolay S. BABICH



Konstantin V. GALKIN

*Vitaly S. Antipenko*<sup>1</sup>, *Nikolay S. Babich*<sup>2</sup>, *Konstantin V. Galkin*<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Russian University of Transport, Moscow, Russia.

<sup>3</sup>DEFSHOV LLC, Moscow, Russia.

✉ <sup>1</sup> [Antipenkovs7@mail.ru](mailto:Antipenkovs7@mail.ru).

## ABSTRACT

Inventory ensures stability of the production technical system. Production facilities have warehouses for workpieces to create final output parts, and warehouses for finished products to meet customer demand. Stocks of workpieces avoid manufacturing downtime. Stocks of finished products make it possible to meet demand in a timely manner and avoid penalties for late deliveries of finished products to consumers.

On the other hand, the objects that make up the inventory are «dead» material resources that do not bring profit and negatively affect economic efficiency and competitiveness. According to published data, in economically developed countries, such as the USA, Japan, Germany and others, up to 30–40 % of

production is in stocks. All this indicates the relevance of the issue of optimising the level of reserves, of solving the problem of establishing and maintaining the optimal level of the stock, its timely replenishment, considering time required for execution of applications of end users.

The objective of the work is to propose a solution to a stochastic logistic problem of inventory management with a random time delay and random demand, obtained by the authors using the methods of mathematical statistics, mathematical modelling, and production logistics for unknown and arbitrary form of distribution functions of demand and time delay. The work provides specific examples of approaches to implementation of suggested solution.

**Keywords:** logistics, spare parts, inventory management systems (IMS), management strategy, stochastic demand, stochastic time delay, technical and economic functions, targeted functionality, algorithms, dynamics of spare parts inventory levels.

**For citations:** Antipenko, V. S., Babich, N. S., Galkin, K. V. Optimisation of Inventory Levels as Logistics Challenge. *World of Transport and Transportation*, 2021, Vol. 19, Iss. 2 (93), pp. 206–210. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-9>.

**The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.**  
**Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.**

## INTRODUCTION

There is a need to improve the efficiency of management systems governing spare parts inventory for transport and special vehicles by building models and optimising them. The problem of inventory management has arisen for a long time. In transport mechanical engineering, inventories play the role of a shock absorber in conditions of a mismatch between the rates of production and the rate of receipt of raw materials. The presence of reserves at an industrial enterprise is an objective reality and an economic necessity. In this case, material resources concentrated in stocks are diverted from the production sphere. The largest share in the working capital of industrial enterprises is made up of funds invested in inventories. The structure of stocks consists mainly of raw materials, basic materials, components and purchased semi-finished products.

Scientific theories of inventory management emerged in the late 19<sup>th</sup> century. The first mathematical models of inventory management systems (IMS) were deterministic in nature. The economic and mathematical functions used and the criteria for effectiveness of inventory management systems built on their basis were linear and often unimodal. This, in turn, dictated the choice of the optimisation method for the proposed IMS models. Attempts have been made to solve the problem analytically. Later, methods of linear and dynamic programming were used. Improvement of industrial production technologies, complication and development of relations and cooperation of enterprises, including the structures of the material and technical supply, has resulted in the understanding of the need to consider the influence of many factors on operation of IMS. Deterministic models had to be abandoned as inadequate to real conditions. Time has come for stochastic IMS models. The development of industrial logistics as a system for managing flows of material resources and finances led to sophistication of IMS, required development of qualitatively new mathematical models of IMS, an in-depth study of their mathematical properties. For example, in the USA, the share of reserves in gross domestic product for almost 35 years is about 28 %. By abandoning the traditional approaches to managing supply, manufacturing, and sales processes since each of these processes was not managed comprehensively, but separately and independently of each other, American firms have

achieved a significant reduction in the costs of maintaining and servicing inventories and their share in the annual volume of costs. The transition to logistics approaches of IMS in American firms has reduced the share of working capital invested in inventories to 18 % in the US gross domestic product [1; 2].

The overwhelming majority of recent publications seem to give preference to logistics and stochastic models as to the most adequate description of real conditions [3; 4].

Hence, the *objective* of the study is to propose a solution to a stochastic logistic problem of inventory management with a random time delay and random demand, obtained using the *methods* of mathematical statistics, mathematical modelling, and production logistics for unknown values and arbitrary form of distribution functions of demand and time delay.

## RESULTS

Let us consider the mathematical model of IMS corresponding to the most common conditions of functioning of an industrial enterprise. Demand is usually random, and applications are processed with a random delay. The distribution functions of demand and time delay are a priori arbitrary and unknown, and often not unimodal. In this setting, the problem has not been solved. Under these conditions, to achieve the goal, it is natural to use modern methods of production logistics, including methods of mathematical statistics, mathematical modelling, information technology and, in particular, identification algorithms.

Let the inventory management system be characterised by the cost function  $Z$  for stock storage, delivery, shortage, etc. Inventory management is carried out by choosing a management strategy. One of the sufficiently effective and flexible strategies is  $(s, S)$ -strategy according to which an order of size  $S - y$  is formed by reducing the level of stock  $y$  below the level  $s$ ,  $s < S$ . For random demand and delay  $Z = Z(y(s, S, x))$ , where, according to Yu. I. Ryzhikov [5],  $y(s, S, x)$  is current stock level,  $x$  is random demand,  $s, S$  are levels in  $(s, S)$ -strategy. Then the criterion of optimality of the system  $J$  is some averaged function of the costs  $Z$ :

$$J(s, S) = Mx \{F[y(s, S, x)]\} \rightarrow \min s, S. \quad (1)$$

Applying to (1) the method of stochastic approximation, which is a method of information technology, we obtain a self-consistent system of adaptive algorithms [6–8]:





$$\begin{aligned}
 S[p + 1] &= S[p] - \gamma_\alpha(S[p + 1]) \cdot f_s \cdot \\
 &\cdot F(Z(y(s[p], S[p], x[p + 1]))); \\
 s[p + 1] &= s[p] - \gamma_\alpha(s[p + 1]) \cdot f_s \cdot \\
 &\cdot F(Z(y(s[p], S[p], x[p + 1]))), \quad (2)
 \end{aligned}$$

where gradient in  $\alpha$  is a derivative in the direction;

$\alpha \cdot \gamma_\alpha \cdot [p + 1]$  are coefficients;

$f_s, f_s$  are functions that consider constraints for  $s$  and  $S$ .

It is assumed that the functions  $F$  and  $Z$  are differentiable, otherwise search algorithms can be applied. Sufficient conditions for convergence (2) are given in numerous monographs on methods of stochastic approximation. In the process of calculating in (2), it is necessary to know the explicit form of the function  $y(s, S, x)$  to find the derivatives with respect to  $s$  and  $S$ . Let us write an equation that simulates the dynamics of inventory and uses the  $(s, S)$ -strategy for the control. It is known that within the framework of  $(s, S)$ -strategy for  $y \geq s$ , the system does not require replenishment of stocks, and for  $y < s$ , an order for replenishment of stock is sent in the amount of  $(S - y)$ . Unsatisfied applications do not leave the system but wait until the stock shortage is eliminated by the next order. All research is done for discrete demand.

Let's renumber applications as they enter the system. We can assume that their number is infinite. The obvious relationship holds:

$$\begin{aligned}
 y_k(x[i]) &= y_{k-1}(x[\eta_k - 1]) + \\
 &+ (S - y_k(x[i]) \operatorname{sgn}(s - y_k(x[i - 1])) - x[i]), \quad (3)
 \end{aligned}$$

where  $i = 1, 2, 3, \dots$ ;

$y_0(x([\eta_0]))$  is initial stock level;

$k$  is period number by order;

$\eta_k$  is number of the last application in the  $k$ -th period, determined from the condition:

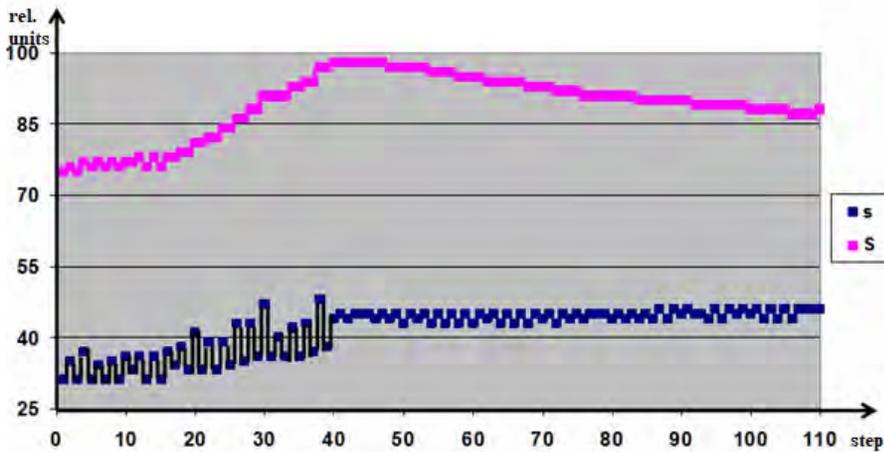
$$\operatorname{sgn}(s - y_k(x[i - 1]) - x[i]) = 1 \rightarrow i = \eta_k. \quad (4)$$

It should be noted that in (1)–(4) time does not occur explicitly. The time dependence is essential for objects, the cost functions of which change over the considered period. As a rule, the type of the cost function for mechanical engineering objects does not change during the optimisation period.

Nevertheless, the problem of optimisation of stocks of spare tools and accessories (spare parts) for road, railway transport and for special vehicles is of considerable practical interest.

Special equipment is a large class of special vehicles in construction, industry, cargo transportation, and military field. Road special vehicles is subdivided according to its functional purpose into civil construction, roadbuilding, agricultural, fire-fighting vehicles, railway special vehicles, etc., which require optimal number of spare parts for good operation.

Time factor in IMS often plays an auxiliary role. In fact, the level of stock in the warehouse is important at the moment of receipt of the next order, while the time itself of receipt of orders is not so important. A deficit is possible only for  $s < 0$ . If there is a delay in the system, then a deficit may appear for  $s > 0$  as well. In this case, when obtaining the initial information and with an equation similar to (3), it is possible to apply the algorithms without using time in an explicit form, despite the fact that delays have the



Pic. 1. Graphs of changes in stock levels of spare part (plate 1) for the automotive industry enterprises (compiled by the authors).

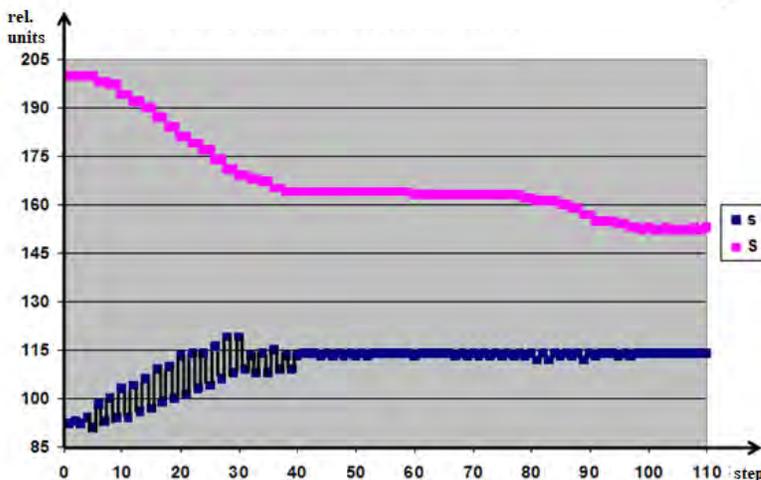
meaning of a time interval. When modelling the dynamics of the stock level, we will consider a random delay through a random number of applications arriving during this time interval. With this approach, it is possible to abandon timing of the change in the level  $y$ , which significantly reduces complexity of obtaining the initial information. All that is needed is data on the size and sequence order of individual applications, not on their temporal distribution. Information about the size and sequence order of applications in the examples under consideration was established by accounting documents.

Since the methods using the first derivative (gradient) are a necessary condition for an extremum, we will compare the values of the criterion in the process of calculating  $s[p], S[p]$

for different  $p$ . For functional (1), we use an algorithm of the type (2):

$$\begin{aligned}
 J_e[p] = & J_e - 1[p] - f_c[p] \{F(Z(y(s[p], \\
 & S[p], x[c]))) - J_e - 1[p]\}, \quad (5) \\
 \text{where } J_e[p] = & J_e(s[p], S[p]).
 \end{aligned}$$

As a possible conditional example, a mathematical model of the problem of optimising the level of stocks of plates 1 and 2 (Pics. 1, 2) is considered for the automotive industry with random demand and random time delay. The authors checked efficiency of the computation program developed by them according to the system of algorithms (1)–(7) on the given model of stocks movement. To avoid discussion that is not related to the content of the work, the authors provide data in relative units, while the mode of operation



Pic. 2. Graphs of changes in stock levels of spare parts (plate 2) for the automotive industry enterprises (compiled by the authors).



of a real warehouse was simulated. Initial input information about movement of material objects can be obtained from the reporting data directly at the warehouse. Technical and economic functions can be obtained from financial reports with subsequent approximation of the initial data using orthogonal Chebyshev polynomials according to well-known techniques [9–11].

The results of calculations carried out by the authors using relations (1)–(5) for conditional examples are shown in Figs. 1, 2. Along the horizontal axis, the numbers of demand applications are plotted in the sequent order of reception by the control system, along the vertical axis, the changes in the levels  $s$  and  $S$  are plotted as compared with the initial values established by experts. The converged values of  $s$  and  $S$  are taken as optimal, as corresponding to the minimum of the objective functional.

## CONCLUSIONS

The paper presents a mathematical model of a stochastic IMS developed by the authors based on production logistics methods and proposes an implicit method for accounting for delay in ordered delivery aimed at replenishment of stock in a warehouse through accounting for orders received during the time of delay of applications (demand), which was the objective of this publication. Recurrence relations (2) were obtained by methods of identification theory [6]. Thus, the use of modern methods of production logistics made it possible to construct a scheme for optimising the level of material resources in the warehouse, which can increase the efficiency and competitiveness of the activities of specific enterprises.

It should be noted that digital technologies, which are also classified as IT technologies, are currently widely used in management of industrial production and technological processes. In particular, research on application of digital technology is currently being carried out in the Russian The Central research and development

automobile and engine institute NAMI, in many other Russian transport organisations and associations.

The model proposed by the authors can be useful for adoption and implementation in inventory management.

## REFERENCES

1. Bowersox, D. J., Closs, D. J. *Logistical Management: The Integrated Supply Chain Process [Logistika. Integrirovannye tsepi postavok]*. 2<sup>nd</sup> ed. Transl. from English. Moscow, Olymp-Business, 2006, 639 p. ISBN 5-901028-84-8.
2. Waters, D., Rinsler, S. *Global Logistics: New Directions in Supply Chain Management*. CPI Group (UK), 2014, 512 p.
3. Afshar Sedigha, A. H., Hajib, R., Sajadifar, S. M. Cost function and optimal boundaries for a two-level inventory system with information sharing and twoidentical retailers. *Scientia Iranica E*, 2019, Vol. 26 (1), pp. 472–485. [Electronic resource]: [http://scientiairanica.sharif.edu/article\\_20144\\_0bce9ef3cd5e3414551be58cda4fdde4f.pdf](http://scientiairanica.sharif.edu/article_20144_0bce9ef3cd5e3414551be58cda4fdde4f.pdf). Last accessed 23.04.2020.
4. Sergeev, V. I., Elyashevich, I. P. *Logistics of supply [Logistika snabzheniya]*. Moscow, Read Group, 2015, 416 p.
5. Ryzhikov, Yu. I. *Logistics and Theory of Queues: Textbook [Logistika i teoriya ocheredei: Uchebnoe posobie]*. Moscow, Lan publ., 2019, 456 p.
6. Tsypkin, Ya. Z. *Fundamentals of learning systems [Osnovy obuchayushchikh sistem]*. Moscow, Nauka publishing house, 1970, 252 p.
7. Antipenko, V. S., Galkin, K. V. Optimal inventory management for special equipment [*Optimalnoe upravlenie zapasami dlya spetsstekhniki*]. *Gruzovik*, 2011, No. 11, pp. 29–31. [Electronic resource]: <https://www.mashin.ru/files/2011/gz1111.pdf>. Last accessed 23.04.2020.
8. Antipenko, V. S., Galkin, K. V., Sharipova, E. V., Bezrukov, A. V. Stock management of spare parts and accessories using information technology methods [*Upravlenie zapasami zapasnykh chastei i prinaldzhnostei metodami informatsionnykh tekhnologii*]. *Izvestiya MGTU MAMI*, 2007, No. 2 (4), pp. 133–136. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/inventory-management-of-spare-parts-and-accessories-using-information-technologies/pdf>. Last accessed 23.04.2020.
9. Radionov, A. R., Radionov, R. A. *Management: rationing and management of production stocks and working capital of the enterprise: Study guide [Menedzhment: normirovanie i upravlenie proizvodstvennymi zapasami i oborotnymi sredstvaim predpriyatiya: Ucheb. posobie]*. Moscow, Ekonomika; Kazan: GUP PIK Idel-Press, 2005, 614 p.
10. Borodin, N. N. *Modern technologies and a resource management system for enterprises [Sovremennye tekhnologii i sistema upravleniya resursami predpriyatii]*. Tula, Publishing house of Tula State Pedagogic University n.a. L. N. Tolstoy, 2004, 113 p.
11. Murphy, P. R., Wood, D. F. *Modern Logistics [Sovremennaya logistika]*. 8<sup>th</sup> ed. Trans. from English. Moscow, LLC I.D. Williams, 2017, 720 p. ●

### Information about the authors:

**Antipenko, Vitaly S.**, D.Sc. (Eng), Professor of the Academy of Basic Training of Russian University of Transport, Moscow, Russia, [Antipenkovs7@mail.ru](mailto:Antipenkovs7@mail.ru).

**Babich, Nikolay S.**, Ph.D. student of Russian University of Transport, Moscow, Russia, [babitch.col@yandex.ru](mailto:babitch.col@yandex.ru).

**Galkin, Konstantin V.**, engineer of DEFSHOV LLC, Moscow, Russia, [galkin\\_kostya@bk.ru](mailto:galkin_kostya@bk.ru).

Article received 23.04.2020, revised 04.12.2020, approved 05.02.2021, accepted 23.04.2021.

# T

## ADMINISTRATION, MANAGEMENT AND CONTROL



### INTERNATIONAL ROAD TRANSPORTATION 212

*Neutralization of transport documents:  
reasons and risks.*



### URBAN TRAFFIC 221

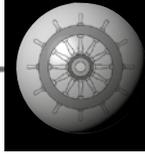
*Example of integrated approach  
to solving a problem at a single street  
in a single city.*



### COMBINED TRANSPORTATION 226

*Practical significance and importance  
of harmonisation of the term.*





# Neutralization of Transport Documents in Road Transport



Miloš POLIAK



Natalia Yu. LAKHMETKINA

*Miloš Poliak<sup>1</sup>, Natalia Yu. Lakhmetkina<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> University of Zilina, Zilina, Slovakia.

<sup>2</sup> Russian University of Transport, Moscow, Russia.

✉ <sup>2</sup> [naturla@mail.ru](mailto:naturla@mail.ru).

## ABSTRACT

In 1956 there was a significant step in international road freight transport – conclusion of Convention on the contract of carriage in international road freight transport (CMR Convention), the basic purpose of which was to unify the rules in the international transport of goods and thus promote the development of international trade. From a practical point of view, this was very important for both carriers and transporters. The Convention describes the most important document in the carriage of goods – the CMR consignment note.

Recently, the term «neutralization» has been used in connection with the CMR consignment note, which is considered as an interference with the system of functioning of transport documents, which aims to obscure the actual movement of the consignment during transport. At the same time, neutralization of the consignment note is not so much contrary to legal norms as it can lead to undesirable consequences for carriers. For this

reason, the question of whether it is possible to neutralize the CMR consignment note in accordance with the current rules and whether the neutralization of the CMR consignment note does not violate the functionality of the existing system is relevant. Therefore, the objective of this work is to study the reasons and methods for neutralizing CMR consignment notes, as well as options for handling neutralized consignment notes.

Considering that neutralization of the consignment note has become a relatively common practice and means the exchange of original consignment notes or transport documents with other consignment notes or transport documents, canceling the actions of the first consignment note, in the article the authors, based on their own research, identified the possibilities of using the neutralization of the CMR consignment note in practice for certain types of goods, routes of the most frequent use, as well as the risks of these procedures in road transport.

**Keywords:** transport, contract, document, Convention on the contract of carriage in international road freight transport (CMR Convention), document neutralization, parallel trade.

**For citation:** Poliak, M., Lakhmetkina, N. Yu. Neutralization of Transport Documents in Road Transport. World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 2 (93), pp. 212–220. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-10>.

**Acknowledgements.** This work has been developed under support of project: VEGA No. 1/0245/20 Poliak: Identification of the impact of a change in transport related legislation on the competitiveness of carriers and carriage safety.

**The article has been originally written in English.**

**Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.**

## INTRODUCTION

Obviously, in the modern world is an important need for mankind and is also a prerequisite for normal functioning of trade. Within the EU, road transport has gradually gained a dominant position, mainly due to reasons such as a quality and dense road network, flexibility, speed, convenience, adaptability, and many others [1; 2]. Transport of goods in the framework of international trade is possible only based on the conclusion of the transport contract [3; 4]. Concluding such a contract would be significantly more complicated if there were no Convention on the contract of carriage in international road freight transport (CMR Convention). Carriers would have to proceed according to the particularities of the national regulations of the countries where the transport would take place. In 1956 in Geneva CMR Convention was concluded. The purpose of the Convention is to standardize the conditions governing the contract of carriage of goods in the cross-border carriage of goods. The CMR consignment note plays an important role in such transportation. It is a document of the conclusion of the contract of carriage and at the same time, it is a document of acceptance of the consignment by the carrier [5].

Neither the CMR Convention, no other legal documents knows the term neutralization of transport documents.

The *objective* of this article is to identify what procedures, in terms of transport documents and the responsibilities of the contracting parties, take place in the neutralization of documents. There is a presumption that in the neutralization of documents one of the contracting parties is harmed or one of the contracting parties assumes a greater risk in the standard contractual relationship. In the article the authors, based on own research, formulated proposals that would help the contracting parties to identify and prevent the neutralization of documents if the neutralization could harm the rights of the person.

### Analysis of the Current State

Concluding a contract of carriage for international transport would be significantly more complicated for the carrier in the absence of the CMR Convention. In this case, the carrier would have to know all the national transport regulations of the countries where one would like to carry the goods [6]. There would be misunderstandings in the conclusion of contracts, including claims on the carrier, due to differences

in legislation between countries and due to their inconsistent interpretation [4]. Therefore, in Geneva on May 19, 1956, CMR Convention was adopted. The basic purpose of this Convention is to unify the rules in the international carriage of goods by road, thereby promoting the development of international trade. From a practical point of view, this is of great importance for both carriers and transporters, since in the absence of such a convention everything would be governed by national regulations [7]. In 1978, a Protocol to the Convention was amended in Geneva, regulating Article 23 describing compensation for damage [8]. Later in 2008, the Convention was supplemented by an Additional Protocol, the amendment relating to the electronic consignment note.

International transport is a transport where the place of loading is in a country other than the place of unloading [9]. The CMR Convention may be used for the international carriage of goods only if the place of loading or the place of unloading is in a State Party to the CMR Convention [10; 11]. There are three exceptions where it is not possible to conclude a contract of carriage under the CMR Convention, even though it is an international carriage [12; 13]. The Convention does not apply to the carriage of postal items, dead persons and migratory uppers. The main reason why these consignments cannot be transported under the CMR Convention is the fact that it is not possible to objectively determine the value of the consignment and thus to identify the carrier's liability for carriage [14]. The Convention has been gradually ratified by individual European countries, but non-European countries are also contracting parties. Currently, 56 countries have signed the CMR Convention, of which only 45 have ratified the Protocol to the Convention [15]. The member countries are listed in the Table 1. The first column lists the countries that have adopted the Convention as well as the Protocol to the Convention. In the second column are countries that are only members of the CMR Convention.

The CMR Convention governs the rules, rights, obligations, and responsibilities of the carrier and the transporter. It regulates the conclusion and implementation of transport contracts as well as the procedures for claiming damages [16]. It further describes what the accompanying documents for transport must contain [17]. It describes the most important document in the international transport of goods, which is the



States Parties to the CMR Convention\*

CMR Convention and CMR Protocol	Only CMR Convention
France, Austria Netherlands, Germany Italy, Poland Belgium, Luxembourg Denmark, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland Ireland Norway, Sweden Portugal, Switzerland Hungary, Romania Finland, Spain Greece, Russian Federation Ireland, Slovenia Croatia, Lithuania Belarus, Estonia Republic of Moldova, Slovakia Czech Republic, Latvia Tunisia, Turkey Uzbekistan, Turkmenistan North Macedonia, Kyrgyzstan Iran, Georgia Cyprus, Lebanon Armenia, Albania Malta, Jordan, Pakistan	Bulgaria Bosnia and Herzegovina Morocco Kazakhstan Tajikistan Serbia Mongolia Azerbaijan Montenegro Ukraine Syrian Arab Republic

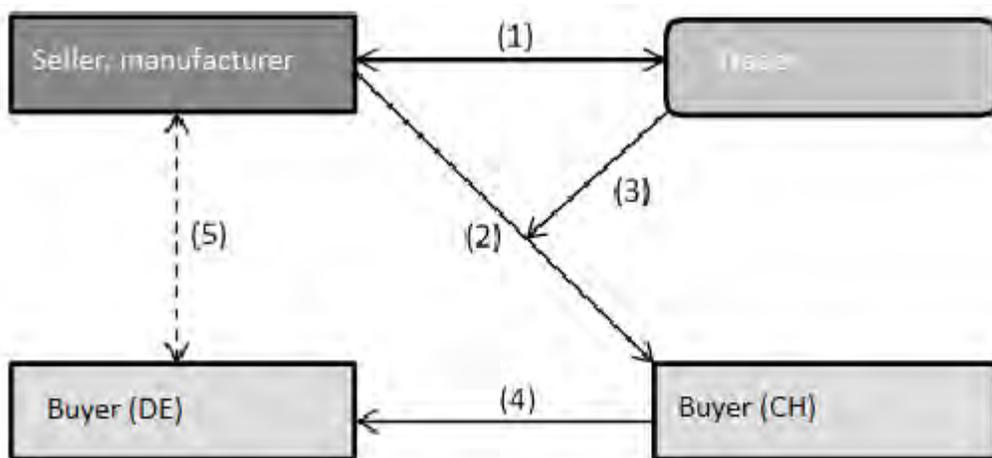
Compiled by the authors based on the UNTC.

\* The text of the Convention: [https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/conventn/cmr\\_e.pdf](https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/conventn/cmr_e.pdf).

CMR consignment note (an official document that has a standardized form and is usually written in two languages) [18–20]. The consignment note shall be drawn up in three original copies signed by the consignor and the carrier [21]. The first red copy shall be addressed to the consignor and shall be a proof to the consignor that the goods have been handed over to the carrier for carriage. The second blue copy shall be handed over to the consignee of the goods so that he knows how many goods to take over from the carrier. The third green copy shall remain with the carrier and shall also constitute proof that the goods have been handed over to the consignee [22]. Unless proven otherwise, the consignment note shall be credible proof of the conclusion and content of the contract of carriage as well as the acceptance of the consignment by the carrier. If the consignment note does not contain the carrier's statement of reasons, the legal presumption is that the consignment and its packaging were in good condition at the time of acceptance by the carrier and that the number of packages, their marks, and numbers corresponded to the information on the consignment note [14; 23].

The carrier's liability shall commence at the moment of acceptance of the goods for carriage and end at the moment of delivery of the goods to the consignee [24; 25]. The carrier is responsible for damage or loss of the goods during

transport and also for exceeding the delivery time. The Carrier has to, by the provisions of the CMR Convention, compensate for any loss of the consignment arising from the moment of its acceptance for carriage to the moment of its delivery [26]. The refund shall be calculated based on the value of the consignment at the place and time of its acceptance for carriage. The value of the consignment is determined by the exchange price, if not the exchange price, by the current market price, and if neither the exchange price nor the market price, by the general value of goods of the same nature and quality [27]. The CMR Convention provides that damages may not exceed a fixed amount per kilogram of missing gross weight. In the original version of the CMR Convention, damages may not exceed 25 francs per kilogram of missing gross weight. Franc means a golden franc weighing 10/31 grams and a purity of 0,900 [15]. This limitation of liability currently applies in eleven countries that have not ratified the CMR protocol. Other countries have significantly reduced the liability of carriers by replacing the gold franc with a unit called Special Drawing Rights (SDR). The carrier is obliged to compensate the owner of the transported goods in the amount of 8.33 SDR for each kilogram of damaged, destroyed or lost goods. The specific value depends on the SDR and EUR exchange rates [28–30]. The carrier



Pic. 1. Scheme of neutralization of CMR consignment note at parallel trade (compiled by the authors).

must also cover the transport, customs and other expenses involved in the carriage of the consignment. This value is also covered by the liability insurance of the carrier. However, if the CMR consignment note states the price of the consignment or the consignor's particular interest in delivery, in this case, the carrier is liable for the full value of the goods thus indicated. In the event of the total loss of the consignment, the carrier must pay the full value of the goods as well as import charges, customs duties, VAT, excise duties, etc. If this value is higher than the amount of the insurance coverage of the carrier's liability arising from the CMR Convention, the carrier should insure such goods [31]. This applies in particular to light and expensive goods. If the delivery time is exceeded and the consignee proves that he has suffered damage, the carrier is obliged to pay only the amount of the delivery charge.

The above analysis confirms that the CMR Convention is an important legal standard for both the carrier and the transporter. The CMR consignment note constitutes a credible document for both the carrier and the transporter. CMR consignment note is also a credible document for third parties, eg. customs offices, insurance companies, etc. For this reason, further consideration should be given to whether the CMR consignment note can be neutralized under the rules currently in force and whether the neutralization of the CMR consignment note does not jeopardize the functionality of the existing system.

Research of the Concept of Neutralization of the CMR Consignment Note and its Reasons

The neutralization of document is a process known only to the transport sector. The authors of this article have failed to get the definition of this term in any legislation or standards. Nevertheless, this term in road freight has been known and used for some years now. The word neutralization has several meanings. Generally, it also means revocation [32]. In transport, neutralization means the exchange of original consignment notes or transport documents with other consignment notes or transport documents. It is, therefore, the annulment of the effect of the first consignment note [33].

The neutralization of transport documents is in most cases linked to illegal logistics activity called «'parallel trade»'. Parallel trade is defined as a trade-in product that takes place outside official distribution and is created by a particular company [32; 34]. Through their distribution, companies can cause price differences in different countries, exploiting national differences in consumer behaviour. Parallel merchants buy products in countries where they sell them at lower prices and then sell them in countries with a higher price. The product is not forged but imported from the country without the permission of the owner of the intellectual property.

The neutralization of consignment note in the parallel trade can be explained in the following Pic. 1.

The explanations to the scheme are as follow.

(1) The trader agrees with the seller (manufacturer) that he will distribute his product to a country where his product is not currently sold (for example Switzerland) if he is offered a lower price than his original sale price. Lower



sales price because of promotion in the new market.

(2) The CMR consignment note is written, whereas a consignor is mentioned the manufacturer and as the buyer is listed company in Switzerland.

(3) After the goods begin to be transported, the driver receives a command to neutralization CMR. He stops the vehicle for example at the gas station and neutralizes the CMR consignment note.

(4) This consignment note lists Switzerland's company as the consignor and the recipient is a German company. The trader sells these goods in Germany at a much higher price than the one he bought, (5) while the manufacturer does not know that his goods are sold in Germany, where he already sells these goods.

The purpose of neutralizing the consignment note should be to ensure business secrecy, where the trader wants to prevent the recipient from knowing the manufacturer and purchasing terms. Based on theoretical research the following can be identified reasons for neutralizing the consignment note:

*Reason A* – when the trader does not want the manufacturer to find out who is buying the product. In this case, the driver loads the goods in the vehicle and writes out a CMR consignment note indicating the consignor and the original consignee. After a while, the driver will be instructed to neutralize and writes out new documents indicating another consignee.

*Reason B* – when the trader does not want the customer to know where the goods are produced. The driver loads the goods into the vehicle and the consignment note is sent to the consignee's warehouse indicating the place of loading other than the actual one. In the event of a roadside check, the driver shall draw up a consignment note indicating the actual place of loading and unloading of the consignment. However, the end customer will receive documents in which the place of loading is different from the actual one, so he will not know who the actual producer of the goods is.

*Reason C* – Nobody knows anything, that is, the manufacturer does not know where the goods are and the final customer does not know where the product comes from. This is the case when the driver loads the goods into the vehicle and writes out a consignment note which is stored in the warehouse of departure. Later, the driver will be instructed to neutralize and will issue a new

consignment note indicating the actual consignor but the new consignee. Subsequently, before approaching a new consignee, the driver shall write out a third consignment note in which the consignor is different from the actual consignor and the new consignee listed in the second consignment note.

Based on this, it can be argued that there are up to three ways of neutralizing transport documents. We conducted our research in the next part which is based on the theoretical identification of the problem of neutralization of transport documents.

## RESULTS OF THE OWN RESEARCH

For acquiring information about the neutralization of consignment note of CMR, a survey was conducted electronically, in software called «Google Forms». After the creation of a survey, the pre-test was done to confirm that questions are understandable enough. Later, this survey was sent to the public on discussion forums, then it resent through the social sites and added into groups including members of the road freight transport (transporters). There were 190 respondents who filled the survey.

The questionnaire contained 3 questions. The first question aimed to determine whether carriers (drivers) have experience in neutralizing CMR consignment note. The second question aimed at identifying the type of goods in which the CMR consignment note was most neutralized. As a final question, we wanted to find out on which transport routes the consignment note was used (the country of dispatch and the country of destination). The questionnaire survey was carried out to obtain basic information on the possibility of using the neutralization of the CMR consignment note in practice and for what kind of goods it is most often performed. We also wanted to find out that if carriers have real experience with the neutralization of transport documents, what countries are in such cases indicated in the shipper and consignee boxes in the CMR consignment note.

Survey output confirms the assumption that carriers have experience with neutralizing the CMR consignment note. The results of the survey show that up to 66 % of the interviewed carriers (drivers) already have experience with neutralization, 34 % have no experience or have never encountered the concept of CMR neutralization. Although no special literature describes the neutralization of the CMR consignment note, it

Table 2

**Share of transported consignments in Slovakia and neutralized consignments  
(compiled by the authors)**

Type of goods	Share in total transportation in Slovakia (%)	Share in total neutralized transportations (%)	The ratio of the share of transportations of a particular commodity to that of transportations with neutralized documents
Secondary materials; municipal waste and other waste	3,50	21,25	6,0714
Wood, articles of wood and cork; articles of straw and plaiting materials; pulp, paper and paper products;	3,52	8,75	2,4858
Textiles and textile products; leather products	0,59	1,25	2,1186
Food, beverages and tobacco	8,82	17,50	1,9841
Chemicals, chemical products and man-made fibers; rubber and plastic products; nuclear fuel	5,51	7,50	1,3612
Furniture; other industrial goods	2,11	2,50	1,1848
Machinery and equipment; office machines and computers; electrical machinery and apparatus	5,32	6,25	1,1748
Metal ores and other mining and quarrying products; products thereof; turf; uranium and thorium	36,62	27,50	0,7510
Transport equipment	4,67	2,50	0,5353
Equipment and material used in the carriage of goods	3,89	1,25	0,3213
Products of agriculture, hunting and forestry, fish and other fishery products	13,18	3,75	0,2845
Other non – metallic mineral products	9,35	0,00	0,0000
Coke and refined petroleum products	2,44	0,00	0,0000
Coal and lignite; oil and natural gas	0,23	0,00	0,0000
Goods transported during the moving of household and office; luggage	0,14	0,00	0,0000
Unidentifiable, other goods	0,12	0,00	0,0000
Total	100 %	100 %	–

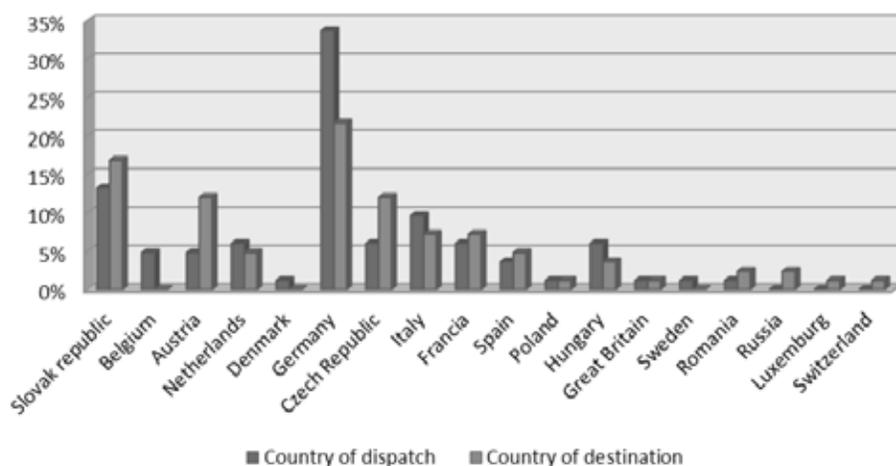
should be noted that carriers are commonly encountered with these practices.

The second part of the research dealt with the question of what kind of goods usually requires the consignor or consignee to neutralize the transport documents. The results of the research are expressed in Table 2, which describes the different categories of goods reported by the carriers as transported goods that were entered in the CMR consignment note in box 9 Labeling of goods in case the consignment note was neutralized. It may be noted that the documents are neutralized for different types of goods. The table also contains information on the percentage of individual categories of transported goods in Slovakia (information from EUROSTAT). However, this survey shows that the most neutralization is associated with the transport of metal ores and metal products (27,50 %), which represents the most transported category of goods in the Slovak Republic (36,62 %). Furthermore, in the

volume of 21,25 % of all neutralized documents were related to the transport of waste. In the Slovak Republic, it is not often transported type of goods, only 3,5 %. On the third place is the transport of food and beverages, which represents almost 18 % of the total neutralized transported quantity of goods, the fourth most frequently transported type of goods in Slovakia. On this basis, it can be said that neutralization does not, therefore, apply to specific transported goods and is not related to the total volume of transported goods in Slovakia (both high and lower share of transported goods).

However, if we observe the importance of neutralizing transport documents to the share of transport of a particular commodity, then the highest share is achieved by secondary materials, municipal waste and other waste. These shipments account to share for only 3,5 % of total transport but up to 21,25 % of total transport with an identified neutralization of tickets (the ratio





Pic. 2. Country of dispatch and destination at neutralizing transport documents (compiled by the authors).

between the percentages reaches a coefficient of up to 6,0714). Furthermore, the following items are also important from the neutralization of transport documents: wood, articles of wood and cork; articles of straw and plaiting materials; pulp, paper, and paper products with a coefficient of 2,4858 and textiles and textile products; leather products with a coefficient of 2,1186.

The last part of the research was aimed at obtaining information on transport routes where neutralization is used. We wanted to find out from the carriers on what transport routes they received a request from the customer to carry out the neutralization of the consignment note. As different transport routes were mentioned, these routes were divided into countries of dispatch and destination. The results are shown in Pic. 2, which shows that Germany is the country where neutralization is most used. Germany accounts for almost 35 % of the replies as the country of dispatch and 22 % than the country of destination. Furthermore, neutralization is mainly used in connection with the Slovak Republic. The other countries mentioned were not listed as much as Germany and Slovakia.

This survey also showed that neutralization is used not only for international transport but also for national (cabotage) transport. 87 % of carriers carried out the neutralization of the consignment note for international transport, the remaining 13 % for domestic transport.

### Risks Associated with the Neutralization of Transport Documents

With the neutralization of the transport documents, which in practice exists and which is

described above, some risks arise not only on the part of the consignor but also on the part of the carrier. To neutralization, we identified the following risks:

- *Fraud* risk occurs when someone enriches someone else's property or otherwise by misleading someone or using someone else's mistake, causing damage to someone else's property. The carrier cannot know in advance whether neutralization will be used to conceal fraud on the consignor. Fraud is circumventing a regional pricing policy or getting rebates that are not eligible. For example, if the consignor requests a lower price from the manufacturer for deliveries to the Baltic States, so that the goods can be placed on a new market. The goods will be transported to Germany. The Sender will mislead the manufacturer, and there will be a lie and a violation of the Criminal Code. This type of trading is known as «Parallel trade».

- *Damaging foreign rights* occurs when someone else causes serious harm to rights by misleading someone or making use of someone's mistake. According to Article 12 of the CMR Convention, the seller has the right to change dispositions until the moment of delivery and if the holder of the first copy of the CMR. For example, if the consignee is found to be insolvent, it has the right to require the carrier to return the goods. However, if the consignment note is neutralized immediately after loading, this right is difficult to assert.

- *Risk of insurance of the carrier's liability.* The carrier in the event of a loss event must prove to the insurance company the original transport documents related to the carriage in which the

consignment or its part was damaged. The carrier, who on the order of the customer exchanges the transport documents during the carriage, carries out the carriage according to other conditions than originally agreed in the contract of carriage. According to the opinion of several insurance companies, they would not realize insurance benefits when the transport documents were neutralized. In this situation, there is a risk on the part of the carrier that it carries out the transport without insurance coverage.

In addition to these risks, there are other risks in the area of tax law or cabotage operations, which we will not discuss in detail because they are either on the side of the transport customer or on the side of the carrier who is aware that the transport documents have been neutralized.

## CONCLUSIONS

The CMR Convention, which governs the contract of carriage for international road freight transport, is today the most important instrument of sharing responsibility between the carrier and the customer. The CMR Convention also defines credible documents that are necessary for the execution of the carriage and which constitute proof of the carriage not only for the parties but also for third parties. In the absence of credible research into the neutralization of the transport documents, the paper aims to confirm the hypothesis that the documents are neutralized. Research by the authors confirmed that in practice the transport documents were neutralized. Up to 66 % of the surveyed carriers confirmed that they had neutralized the transport documents at the request of the client of transport. From further research, it can be concluded that neutralization does not only apply to the transport of a particular type of goods. However, we can say that our research shows that documents are most neutralized when transporting secondary materials, municipal waste, and other waste. We have also concluded that the consignment note exchange is used on different transport routes. It is mostly connected with the transport of goods from/to Germany and further from/to Slovakia. Neutralization is used not only in international freight transport but also in national freight, where there may be problems of non-compliance with cabotage conditions.

Since neutralization of the consignment note is not a technical term and is not defined in any legislation or the CMR Convention, the neutralization procedure needs to be specifically

addressed. In this article, we identified some risks on the shipper and carrier side. These are mainly risks related to fraud and infringement of the sender's property rights but also risks related to insurance of the carrier's liability. The authors are aware that there are other risks, for example in the tax area. This paper presents a proposal to prevent the neutralization of the CMR consignment note from the position of the sender. In case the sender has access to data from the transport route – according to the unique CMR consignment note number, the neutralization of the transport documents will be limited. Similarly, in terms of tax risk, it would be appropriate to provide this information to the financial administration. Further research would need to be devoted to this issue.

## REFERENCES

1. Čulík, K., Kalašová, A., Kubíková, S. Simulation as an instrument for research of driver-vehicle interaction. *MATEC Web of Conferences*, 2017, Vol. 134, Iss. 8, pp. 1–8. DOI: 10.1051/mateconf/201713400008.
2. Jurecki, R., Stańczyk, T. Analyzing driver response times for pedestrian intrusions in crash-imminent situations. 11<sup>th</sup> International Science and Technical Conference Automotive Safety, 2018, pp. 1–7. DOI: 10.1109/AUTO-SAFE.2018.8373339.
3. Defossez, D. CMR: what if the courts got it wrong? *Uniform Law Review*, 2016, Vol. 21, Iss. 1, pp. 75–100. DOI: 10.1093/ulr/unw003.
4. Ramberg, J. Unification of the law of international freight forwarding. *Uniform Law Review*, 1998, Vol. 3, Iss. 1, pp. 5–13. DOI: 10.1093/ulr/3.1.5.
5. Clarke, M. A. International Carriage of Goods by Road: CMR. CRC Press, sixth edition, 2014, 512 p.
6. Czapski, W. Application et interprétation de la Convention CMR à la lumière du droit international. *Uniform Law Review*, 2006, Vol. 11, Iss. 3, pp. 545–567. DOI: 10.1093/ulr/11.3.545.
7. Belohlavek, A. Selected Case Law of Czech Republic on the CMR Convention and New Civil Law in Effect in Czech Republic as of 1 January 2014. *CYLIL – Czech Yearbook of International Law*, 2015, Vol. 6, pp. 231–325. [Electronic resource]: [https://papers.ssrn.com/sol3/Delivery.cfm/SSRN\\_ID2618063\\_code1543873.pdf?abstractid=2618063&mirid=1&type=2](https://papers.ssrn.com/sol3/Delivery.cfm/SSRN_ID2618063_code1543873.pdf?abstractid=2618063&mirid=1&type=2). Last accessed 27.04.2021.
8. Berlingieri, F. Uniformity in Maritime Law and Implementation of International Conventions. *Journal of Maritime Law and Commerce*, 1987, Vol. 18, Iss. 3, 317 p.
9. Gnap, J., Varjan, P., Semanová, S. Logistics of entry and parking of vehicles at large production companies. *MATEC Web of Conferences*, 2017, Vol. 134, Iss. 16, pp. 1–8. DOI: 10.1051/mateconf/201713400016.
10. Lamont-Black, S. The UK Supreme Court on jurisdiction over successive CMR Convention carriers and European Union rules. *Uniform Law Review*, 2016, Vol. 21, Iss. 4, pp. 487–509. DOI: 10.1093/ulr/unw041.
11. Schelin, J. CMR Convention in a law and economics perspective. *Uniform Law Review*, 2016, Vol. 21, Iss. 4, pp. 434–440. DOI: 10.1093/ulr/unw036.
12. Quigley, I. Freight Carrier's Liability under the CMR convention 1956. *Acta Oeconomica Pragensia*, 2006, Vol. 14, Iss. 4, pp. 41–45. [Electronic resource]: <https://aop.vse.cz/pdfs/aop/2006/04/05.pdf>. Last accessed 27.04.2021.



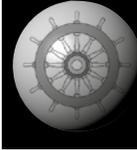
13. Radionov, N. Limitation of liability right in road freight carriage in Croatia: an extinct institute. *Uniform Law Review*, 2016, Vol. 21, Iss. 4, pp. 457–468. DOI: 10.1093/ulr/unw035.
14. Haak, K. F. The liability of the carrier under the CMR. *Stichting Vervoeradres*, 1986, 395 p.
15. Schwenzer, I. The CISG Advisory Council. *Nederlands Tijdschrift voor Handelsrecht (NTHR)*, 2012, pp. 46–51. DOI: 10.9785/ihr-2017-0509.
16. Putzeys, J. La CMR-60 ans et plus. *Uniform Law Review*, 2016, Vol. 21, Iss. 4, pp. 421–425. DOI: 10.1093/ulr/unw034.
17. Criddle, E. The Vienna Convention on the Law of Treaties in U.S. Treaty Interpretation. *Virginia Journal of International Law*, 2004, Vol. 44, Iss. 2, pp. 431–500. [Electronic resource]: <https://scholarship.law.wm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2561&context=facpubs>. Last accessed 27.04.2021.
18. Hendrikse, M. L., Van Huizen, P. H. J. G. CMR: International Vervoer Van Goederen over de Weg. *NTHR-reeks*, 2006, 322 p.
19. Mutz, G. La révision 1999 de la Convention relative aux transports internationaux ferroviaires (COTIF). *Etudes Offertes A Barthélemy Mercadal*, 2002, 558 p.
20. Sturley, M. F. International uniform laws in national courts: The influence of domestic law in conflicts of interpretation. *Virginia Journal of International Law*, 1987, Vol. 27, pp. 729–802. [Electronic resource]: <https://law.utexas.edu/faculty/publications/1987-International-Uniform-Laws-in-National-Courts-The-Influence-of-Domestic-Law-in-Conflicts-o>. Last accessed 27.04.2021.
21. Keijser, L. Ondervervoer–Opvolgend vervoer (artikel 3–34 e.v. CMR). *European Transport Law*, 2007, 331 p.
22. Sker, T. Analysis of Road Carriers Liability for Robbery of Cargo According to CMR Convention. *Promet-Traffic-Traffico*, 2003, Vol. 15, Iss. 6, pp. 371–374.
23. Anastasiadou, I. In search of a railway Europe: transnational railway developments in interwar Europe. Doctoral Thesis, Technische Universiteit Eindhoven, 2009, 221 p.
24. Haak, K. F. Uniformiteit, Quo Vadis? *Boom Juridische uitgevers*, Den Haag, 2013, 100 p.
25. Mutz, G. Le droit de transport international ferroviaire en pleine mutation. *Liber Amicorum Jacques Putzeys*, 1996, 555 p.
26. Loewe, R. Commentary on the convention of 19 May 1956 on the contract for the international carriage of goods by road (CMR). *European Transport Law*, 1976, p. 11.
27. Lommers, S. The Berne Key: the key to railway harmony. *Inventing Europe*, 2016. [Electronic resource]: <http://www.inventingeurope.eu/governance/the-berne-key-the-key-to-railway-harmony>. Last accessed 27.04.2021.
28. Dörr, O., Schmalenbach, K. Article 32. Supplementary Means of Interpretation. *Vienna convention on the law of treaties: A commentary*, 2019, pp. 571–586.
29. Joshua, K., de Germiny, L. Has the CISG Advisory Council Come of Age. *Berkeley Journal of International Law*, 2009, Vol. 27, Iss. 2, pp. 448–496.
30. Karton, J. D. H., Germiny, L. D. Can the CISG advisory council affect the homeward trend? *Vindobona Journal of International Commercial Law and Arbitration*, 2009, Vol. 13, pp. 71–90.
31. Paulin, C. Réflexions sur la distinction entre contrat de transport et contrat de commission de transport. *Etudes sur le droit de la concurrence et quelques thèmes fondamentaux: mélanges en l'honneur d'Yves Serra Dalloz*. Paris, 2006, pp. 325–336.
32. Stothers, Ch. *Parallel Trade in Europe: Intellectual Property, Competition and Regulatory Law*. Oxford, Hart Publishing, 2007, pp. 637–639.
33. Mukherjee, A., Zhao, L. Profitable parallel trade in unionized markets. *Journal of Economics*, 2012, Vol. 107, pp. 267–276.
34. Szymonik, A. *International logistics*. Lodz University of Technology, 2014.
35. Anderson, R. On the security of digital tachographs. *European Symposium on Research in Computer Security*, Springer, 1998, pp. 111–125.
36. Colak, M., Bishop, J., Nordvik, P., Mahieu, V., Loeschner, J. Cryptographic security mechanisms of the next generation digital tachograph system and future considerations. *Research Centre Scientific and Policy Report*. European Commission, 2012. [Electronic resource]: <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC77933>. Last accessed 27.04.2021.
37. Furgel, I., Lemke, K. A review of the digital tachograph system. *Embedded Security in Cars*, 2006, pp. 69–94.
38. Baldini, G. & Sportiello, L. & Chiaramello, M. & Mahieu, V. Regulated applications for the road transportation infrastructure: The case study of the smart tachograph in the European Union. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 2018, Vol. 21, pp. 3–21.
39. Lemke, K. *Embedded Security: Physical Protection against Tampering Attacks*. In: *Embedded Security in Cars*. Berlin, Heidelberg, Springer, 2006, pp. 207–217.
40. Poliak, M., Poliaková, A. Relation of social legislation in road transport on driver's work quality. *International Conference on Transport Systems Telematics*, 2015, pp. 300–310.
41. Raisch, M. *Travaux préparatoires and united nations treaties or conventions: Using the web wisely*. Research tips and observations. *International Journal of Legal Information*, 2002, Vol. 30, Iss. 2, pp. 324–330.
42. Rana, A., Sportiello, L. Implementation of security and privacy in epassports and the extended access control infrastructure. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 2014, Vol. 7, Iss. 4, pp. 233–243.
43. Rychter, M. Function, technology and the level of implementation of the digital tachograph system in EU-AETR and non EU-AETR countries. *SAE Technical Paper*. The Automotive Research Association of India, 2011. DOI: 10.4271/2011-28-0098.
44. Sel, M., Karakljajic, D. Internet of trucks and digital tachograph – Security and privacy threats. *ISSE 2014 Securing Electronic Business Processes: Highlights of the Information Security Solutions Europe 2014 Conference*, 2014, pp. 230–238.
45. Smieja, M., Rygiel, A. Information systems safety in a context of automotive applications. *Journal of KONES*, 2012, Vol. 19, Iss. 4, pp. 565–570.
46. Wildemeersch, M., Slump, C. H., Rabbachin, A. Acquisition of GNSS signals in urban interference environment. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 2014, Vol. 50, Iss. 2, pp. 1078–1091. ●

Information about the authors:

**Poliak, Miloš**, Ph.D., Professor, Dean of the Faculty of Operation and Economics of Transport and Communication of University of Zilina, Slovakia, [milos.poliak@fpedas.uniza.sk](mailto:milos.poliak@fpedas.uniza.sk).

**Lakhmetkina, Natalia Yu.**, Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Logistics Transport Systems and Technologies of Russian University of Transport, Moscow, Russia, [natural@mail.ru](mailto:natural@mail.ru).

Article received 03.03.2021, approved 23.04.2021, accepted 05.05.2021.



# The Project of Organizing Non-Stop Traffic at T-Intersections (Tyumen Case Study)



**Andrey A. Pobedinsky**

State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen, Russia.  
✉ [vm993711@mail.ru](mailto:vm993711@mail.ru).

Andrey A. POBEDINSKY

## ABSTRACT

The constant growth in the number of cars and trucks in single industry towns is forcing road design engineers to find ways convenient for all road users and pedestrians to move at intersections. Fulfilling such conditions is a difficult task but it can be solved, especially if there are many T-shaped intersections along the entire length of the road. Most often they are located along the line of railways, heating mains, river or lake banks, parks, etc. Since there are no adjacent roads, it is possible to ensure continuous movement of cars, but only in one direction.

The objective of this work is to substantiate the project aimed at ensuring unhindered traffic at T-intersections of vehicles following 50 let VLKSM street in the city of Tyumen.

To achieve this objective, the method of observation and recording, as well as the analysis of operation of optical devices

that regulate passage of cars at intersections were used. With newly designed travel mode, there is no infringement of rights in relation to other motorists and pedestrians since the traffic light mode for the rest of segments keeps the same counting in seconds. A system of safe pedestrian crossing is envisaged along with an improvement in the environmental component of the whole city.

For initial adaptation of motorists to new conditions, it is proposed to use a side green vertical arrow attached to the traffic light and signal columns that delimit traffic lanes for a «slow merge» into the flow of those leaving the secondary road. An undeniable advantage of this type of design is the minimum cost of reconstruction of intersections. Based on author's own observations, it can be argued that this project increases traffic of vehicles moving from the central part of the city to the eastern part by 1,5–1,8 times.

**Keywords:** transport, T-shaped intersection, traffic lights, road marking, traffic organisation.

*For citation:* Pobedinsky, A. A. The Project of Organizing Non-Stop Traffic at T-Intersections (Tyumen Case Study). World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 2 (93), pp. 221–225. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-11>.

**The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.  
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.**

## INTRODUCTION

The number of vehicles sold and registered in Russia is growing steadily from year to year. Basically, this increase occurs in regional centres and large cities of the country. Both passenger cars and trucks are registered by individuals and organisations. Unfortunately, transport interchanges, overpasses, roads in most cities of the Russian Federation do not have time to cope with the constantly growing number of vehicles [1]. Even after construction of new interchanges, which were supposed to increase traffic capacity, motorists still often experience difficulties when driving through this or that intersection. Sometimes inauguration of new interchange is expected for years due to calculation errors during construction, lack of funding, etc. And all this aggravates the situation even more. Obviously, an option is needed that would combine minimum cost estimate, minimum construction or reconstruction time at road segments, and will ensure a safe crossing for pedestrians, but under all these conditions, road capacity for vehicles would increase [2].

For the most part, the transport infrastructure of the city of Tyumen is a balanced traffic of vehicle and pedestrian flows. The markings have been applied, delimiting traffic lanes, traffic light switching has been correctly adjusted, there are smooth road surfaces, new pedestrian crossings and those under construction, etc. Despite the well-developed concept of traffic flows, the city still suffers problems with congestion at intersections, mainly in city's central parts. Based on the experience of other cities [3–6; 10; 15], these problems, as a rule, are proposed to be solved by increasing the number and expansion of carriageways, additional construction of second-level roads (above the main road), using reverse traffic, regulated depending on the growing traffic flows at different times of the day.

But what if the carriageway is expanded to its maximum limit, and the construction of second-level roads and reverse traffic is not possible due to the fences on the carriageway? The answer to this question is that it is necessary to develop such a traffic project that will increase road traffic capacity with the minimum amount of road works and estimated costs.

The *objective* of this article is to create a typical project for T-shaped intersections, with the possibility of increasing car traffic in one of the directions. The objective is studied using the case of one of the central streets of the city of Tyumen.

As research *method*, the study of automatic operation of traffic light control and of the number of vehicles moving at T-shaped intersections from the central part of the city to the eastern part is applied.

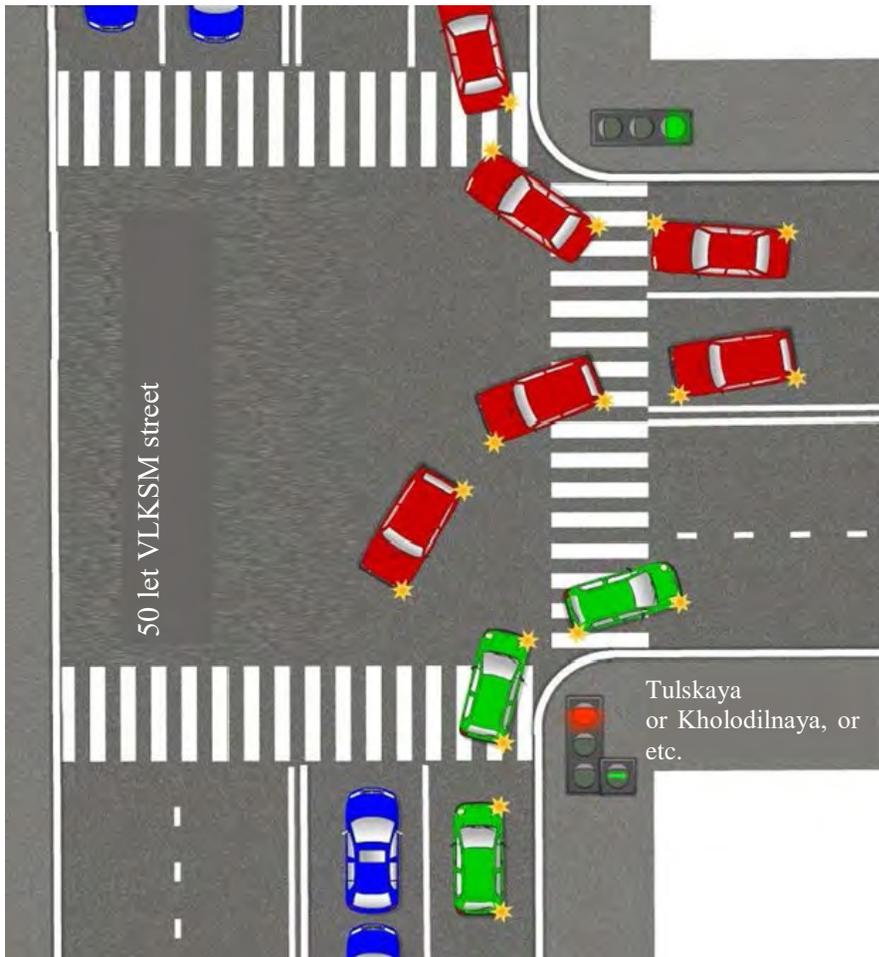
## RESULTS

### Input Conditions

It is proposed to consider the example of 50 let VLKSM street, coming from Zapolnaya street and ending at the intersection with Montazhnikov street. The fact is remarkable that this street connects the city centre with its eastern part. It is in the eastern part of the city that new residential neighbourhoods are being actively built, and universities, shopping centres, recreation areas, etc. are concentrated in the central part. Hence, the emphasis is put on this road-and-street section.

50 let VLKSM street in Tyumen is a duplicate of another central street, Respubliki street, therefore, increasing traffic capacity in this area is extremely important for the entire city. The traffic congestion at the 50 let VLKSM street is sometimes even more than that of its backup since vehicles with a permitted maximum weight of more than 3,5 tons are prohibited from moving along Respubliki street in its central part. When carrying out work on recording time of traffic light operation (in the direction from the centre to the eastern part of the city) on weekdays from 7:30 to 19:00, it was found that the green traffic light was on at all T-sections for the period from 50 to 60 seconds. During this period, 45–50 units of vehicles pass in the forward direction, the rest stop in front of the prohibiting traffic light. The red signal lights up from 35 to 40 seconds, and during this time 2 to 6 more cars join the standing cars, approaching from the secondary road.

Most of the intersections on this section of the road are T-shaped, as shown in Pic. 1. With minor amendments, the intersection of 50 let VLKSM street with Maksim Gorkiy, Kholodilnaya and Permyakova streets can also be attributed as being T-shaped. Their difference is that, moving from west to east, there is an additional lane for turning left or making a U-turn. Also, at these intersections there are turns to the right (crossing Maksim Gorkiy street), where the car service is located, and to the gas station (crossing Kholodilnaya and Permyakova streets). Based on the observations of movement of vehicles at these intersections, it can be noted



Pic. 1. Scheme of T-shaped intersection at the street 50 let VLKSM (compiled by the author).

that the number of vehicles leaving them on 50 let VLKSM street is so small that it is possible to remove the traffic light near a car service, gas stations and make an exit as «from the adjacent territory when it is allowed to turn only to the right».

### Design Proposals

To implement the design solution for development of unhindered traffic along the 50 let VLKSM street in one of the directions, it is proposed to do the following:

- To install signs allowing only left turn from the left lane and right turn from the right lane only at all the T-shaped intersections entering the 50 let VLKSM street.

- To keep the same mode for traffic from east to west, namely for vehicles driving in the extreme right lane to install signs allowing going straight and to the right, for those moving in the left lane there will be sign allowing going only straight forward.

- When driving from west to east of the city in the extreme left lane, it is possible to make a left turn and a U-turn, and the extreme right lane can be intended for driving straight, except for right turns (e.g., to car services and gas stations), if there are any.

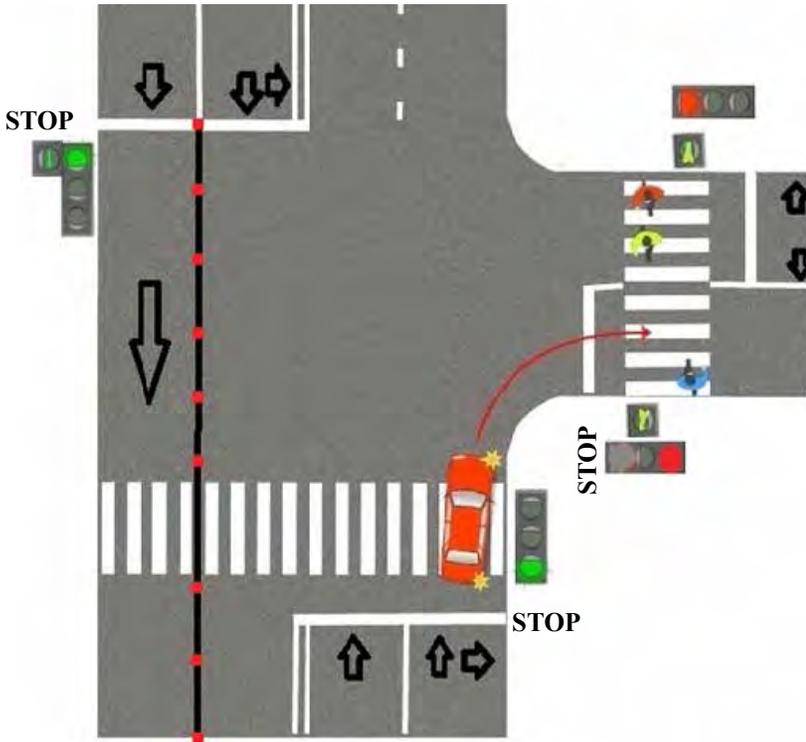
- To carry out markings for a pedestrian crossing across the 50 let VLKSM street on only one side of the intersection.

- To equip the installed traffic lights with special buttons for manual switching on for pedestrian crossings, after a certain time interval, and it is proposed to leave the same time for passing and waiting for vehicles.

An approximate design option will look as shown in Pic. 2.

For initial introduction of this project, so that motorists can develop a habit, it is possible to install additional signs [12] before entering the intersection and to separate the far right lane, for example, with signal identification posts (Pic. 3).





Pic. 2. An approximate typical design of a T-shaped intersection for unimpeded movement in one of the directions (compiled by the author).



Pic. 3. Signal identification posts.

**CONCLUSIONS**

When implementing the project of a T-shaped intersection along its entire length of 50 let VLKSM street at the intersection with secondary roads, it is possible:

- To ensure unimpeded movement from the city centre to its eastern part, thereby increasing average speed of movement of vehicles, including freight vehicles with a maximum permissible weight of over 3,5 tons.
- Not to infringe on other road users in delaying traffic lights.

- To stay in the limits of minimum cost estimate for reconstruction.
- To avoid global construction works.
- To increase car traffic by 1,5–1,8 times.
- To create convenient schemes for operation of pedestrian crossings.
- To organise safe conditions for pedestrian crossings.
- To reduce downtime of vehicles at intersections, which will entail a decrease in emission of harmful gases and improve the environmental situation.

**REFERENCES**

1. Berezovskaya, A. V., Dreyko, S. V., Ertman, S. A. Application of simulation to optimise organisation of road traffic at the crossroads of the city [*Primenenie imitatsionnogo modelirovaniya dlya optimizatsii organizatsii dorozhnogo dvizheniya na perekrestke goroda*]. In: New technologies for the oil and gas region. Proceedings of the All-Russian scientific-practical conference of students, Ph.D. students and young scientists with international participation, 2015, pp. 102–105. [Electronic resource]: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_24105190\\_39156014.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_24105190_39156014.pdf). Last accessed 22.12.2020.
2. Kalchuk, D. N., Kalchuk, V. N., Pozdnyakov, M. N., Selimov, A. A. Scheme of organisation of left-turn traffic at an intersection with a designated pedestrian crossing [*Skhema organizatsii levo-povorotnogo dvizheniya na perekrestke s otnesennym peshekhodnym perekhodom*]. *Vestnik magistratury*, 2016, Iss. 4-1 (55), pp. 46–50. [Electronic resource]: [http://www.magisterjournal.ru/docs/VM55\\_1.pdf](http://www.magisterjournal.ru/docs/VM55_1.pdf). Last accessed 22.12.2020.

3. Golovnin, O. K., Kharitonova, E. N. Organisation of road traffic at the T-shaped intersection [*Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya na T-obraznom perekrestke*]. In: IT & transport: Collection of scientific articles. Ed. by T. I. Mikheeva. Samara, 2018, pp. 37–47. [Electronic resource]: <http://ittransport.ru/uploads/digests/2018-9.pdf>. Last accessed 22.12.2020.

4. Semenikhin, B. A., Kuznetsova, L. P., Kuznetsov, L. Yu. Improving organisation of traffic at the intersection of street Boitsov 9 divizii–pr-t Khrushcheva, Kursk [*Sovershenstvovanie organizatsii dorozhnogo dvizheniya na perekrestke ul. Boitsov 9 divizii–pr-t Khrushcheva, Kursk*]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*, 2019, No. 2 (65), pp. 89–95. [Electronic resource]: <http://oreluniver.ru/public/file/archive/MT22019.pdf>. Last accessed 22.12.2020.

5. Kamaletdinova, D. I., Zagidullin, R. R. Improving organisation of traffic at the intersection of M. Jalil street–Batenchuk street, Naberezhnye Chelny [*Sovershenstvovanie organizatsii dorozhnogo dvizheniya na perekrestke ul. M. Dzhaliya–ul. Batenchuka, Naberezhnye Chelny*]. *Tekhnika i tekhnologiya transporta*, 2019, Iss. 1 (10), pp. 1–7. [Electronic resource]: <http://transport-kgasu.ru/files/N10-09ODD119.pdf>. Last accessed 22.12.2020.

6. Kalmykov, B. Yu., Kalmykov, M. B., Saprunova, Yu. S. Proposals for organization of road traffic at the intersection of Lenina prosp. – Maxim Gorky street, Donetsk, Rostov region [*Predlozheniya po organizatsii dorozhnogo dvizheniya na perekrestke prosp. Lenina–ul. Maksima Gorkogo, Donetsk Rostovskoi oblasti*]. *Inzhenerny vestnik Dona*, 2019, No. 2 (53), 12 p. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/predlozheniya-po-organizatsii-dorozhnogo-dvizheniya-na-perekrestke-prosp-lenina-ul-maksima-gorkogo-g-donetska-rostovskoy-oblasti/pdf>. Last accessed 22.12.2020.

7. Mikheeva, T. I., Mikheev, S. V. Research of methods of local control of traffic flows [*Issledovanie metodov lokalnogo upravleniya transportnymi potokami*]. *Bulletin of Samara State Aerospace University. Ser. «Actual problems of radio electronics»*. Samara, SSAU, 2003, pp. 24–30. [Electronic resource]: [http://repo.ssau.ru/bitstream/Vestnik-SGAU-Aktualnye-problemy-radioelektroniki/Issledovanie-metodov-lokalnogo-upravleniya-transportnymi-potokami-65364/1/apr\\_2003\\_5.pdf](http://repo.ssau.ru/bitstream/Vestnik-SGAU-Aktualnye-problemy-radioelektroniki/Issledovanie-metodov-lokalnogo-upravleniya-transportnymi-potokami-65364/1/apr_2003_5.pdf). Last accessed 22.12.2020.

8. GOST R [State Standard] 52282-2004. Technical means of traffic management. Road traffic lights. Types and basic parameters. General technical requirements. Test methods [*GOST R 52282-2004. Tekhnicheskie sredstva organizatsii dorozhnogo dvizheniya. Svetofory dorozhnie. Tipy i osnovnye parametry. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy*]. [Electronic resource]: [znaytovar.ru/gost/2/GOST\\_R\\_522822004\\_Texnichesk.html](http://znaytovar.ru/gost/2/GOST_R_522822004_Texnichesk.html). Last accessed 22.12.2020.

9. ODM [Road Sector Methodological Document] 218.6.003-2011. Methodical recommendations for design of traffic light objects on highways [*ODM 218.6.003-2011. Metodicheskie rekomendatsii po proektirovaniyu svetofornykh ob'ektov na avtomobilnykh dorogakh*]. [Electronic resource]: <https://www.docs.cntd.ru/document/1200098292>. Last accessed 22.12.2020.

10. Klinkovshstein, G. I., Afanasyev, M. B. Organization of road traffic: Textbook for universities [*Organizatsiya*

*dorozhnogo dvizheniya: Ucheb. dlya vuzov*]. 5<sup>th</sup> ed., rev. and enl. Moscow, Transport publ., 2001, 247 p. [Electronic resource]: [https://www.studmed.ru/klinkovshsteyn-gi-organizatsiya-dorozhnogo-dvizheniya\\_bc1a40781bc.html](https://www.studmed.ru/klinkovshsteyn-gi-organizatsiya-dorozhnogo-dvizheniya_bc1a40781bc.html). Last accessed 22.12.2020.

11. Russian Federation. Federal Law «On Road Safety» No. 196-FZ of December 10, 1995 (as amended on December 27, 2018) [*Rossiiskaya Federatsiya. Federalniy zakon «O bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya» № 196-FZ ot 10.12.1995 (red. ot 27.12.2018)*]. [Electronic resource]: [www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_8585](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8585). Last accessed 22.12.2020.

12. Smirnov, A. Road barriers [*Dorozhnie ograzhdeniya*]. [Electronic resource]: <https://www.svoizabor.ru/territoriya/dorozhnye-ograzhdeniya.html>. Last accessed 22.12.2020.

13. Bulavina, L. V. Experimental study of the characteristics of transport and pedestrian traffic: Methodological instructions for laboratory and practical work on the course «City transport and traffic management» [*Eksperimentalnoe izuchenie kharakteristik transportnogo i peshekhodnogo dvizheniya: Metodicheskie ukazaniya k laboratornym i prakticheskim rabotam po kursu «Gorodskoi transport i organizatsiya dvizheniya»*]. Ed. by assoc.prof., Ph.D. (Eng) A. P. Zakharov. Yekaterinburg, USTU-UPI, 2009, 30 p. [Electronic resource]: [http://xn--80aaajce2a9bkv.xn--p1ai/uploadedFiles/files/2009\\_MU\\_Harakteristiki\\_transp\\_i\\_pesh\\_dvigения.pdf](http://xn--80aaajce2a9bkv.xn--p1ai/uploadedFiles/files/2009_MU_Harakteristiki_transp_i_pesh_dvigения.pdf). Last accessed 22.12.2020.

14. Yakimov, M. R. Transport planning: creating transport models of cities [*Transportnoe planirovanie sozdanie transportnykh modelei gorodov*]. Moscow, Logos publ., 2013, 188 p. [Electronic resource]: <http://simulation.su/uploads/files/default/2013-yakimova-monography-1.pdf>. Last accessed 22.12.2020.

15. Mikheeva, T. I., Mikhailov, D. A., Mikheev, S. V., Bogdanova, I. G. Forecasting traffic intensity on highways of a megapolis [*Prognozirovanie intensivnosti dvizheniya na avtomobilnykh dorogakh megapolisa*]. Proceedings of International scientific and technical conference Advanced information technologies. Samara State Aerospace University n.a. Academician S. P. Korolev. Samara, Publishing House of SSC RAS, 2013, pp. 254–257. [Electronic resource]: [http://repo.ssau.ru/bitstream/Perspektivnye-informacionnye-tehnologii/Prognozirovanie-intensivnosti-dvizheniya-na-avtomobilnyh-dorogah-megapolisa-59470/1/pit\\_2013\\_iit\\_19.pdf](http://repo.ssau.ru/bitstream/Perspektivnye-informacionnye-tehnologii/Prognozirovanie-intensivnosti-dvizheniya-na-avtomobilnyh-dorogah-megapolisa-59470/1/pit_2013_iit_19.pdf). Last accessed 22.12.2020.

16. GOST [State Standard] 32965-2014. Automobile roads for general use. Methods for accounting for intensity of traffic flow [*GOST 32965-2014. Dorogi avtomobilnie obshchego polzovaniya. Metody ucheta intensivnosti dvizheniya transportnogo potoka*]. [Electronic resource]: <http://docs.cntd.ru/document/1200132267>. Last accessed 22.12.2020.

17. GOST [State Standard] 32944-2014. Automobile roads for general use. Pedestrian crossings. Classification. General requirements. [*GOST 32944-2014. Dorogi avtomobilnie obshchego polzovaniya. Peshekhodnie perekhody. Klassifikatsiya. Obshchie trebovaniya*]. [Electronic resource]: <http://docs.cntd.ru/document/1200138623>. Last accessed 22.12.2020. ●

Information about the author:

**Pobedinsky, Andrey A.**, Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Forestry, Woodworking and Applied Mechanics of State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen, Russia, [vm993711@mail.ru](mailto:vm993711@mail.ru).

Article received 05.12.2019, revised 23.12.2020, approved 30.12.2020, accepted 26.04.2021.

Editor's note. Even though the research is of applied and local nature and does not pretend to generalise the conclusions, it seems that precisely because of its specific focus, its results can be of interest and might be useful due to the similarity of the problems experienced in many cities with comparable traffic congestion.





# Structural and Content Characteristic of the Object of Combined Transport



Oleg N. LARIN

*Oleg N. Larin*

*Russian University of Transport, Moscow, Russia.*

✉ [larin\\_on@mail.ru](mailto:larin_on@mail.ru).

## ABSTRACT

*The article presents the results of a comparative analysis of equivalence of structural and content characteristics of individual terms used in combined transport contained in various official regulatory documents. Differences in definitions of individual terms in that subject area often impede effective integration of transport systems at interregional or international level. This study focuses on the analysis of characteristics of structural components of the*

*objects of combined transport, which are contained in definitions of this term in a number of international agreements, national regulations and interstate standards. The results of the study have allowed to formulate proposals aimed at unification of structural and content characteristics of the object of the combined transport as well as recommendations for improving certain regulatory documents.*

Keywords: *transport, multimodal transportation, intermodal transportation, combined transport, international agreements on combined transport, objects of combined transport.*

---

*For citation:* Larin, O. N. Structural and Content Characteristic of the Object of Combined Transport. World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 2 (93), pp. 226–234. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-12>.

Acknowledgments. *The main provisions of this study were initially presented at the Meeting of Experts of the Commission on Freight Transportation of the Organisation for Co-operation between Railways, which took place in July 2020 and was devoted to topical issues of organising combined transport in international traffic. The author expresses gratitude to the organising committee of the Meeting for the opportunity to take part in the discussion on modern directions for improving organisational and technological aspects of implementation of combined transport, which made it possible to improve certain provisions of this study.*

---

*The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.  
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.*

## INTRODUCTION

Transport plays a decisive role in ensuring sustainable social and economic development of any state. Moreover, this thesis is of particular importance for the countries of Europe and Asia. Since ancient times, reliable and efficient communications implemented with different modes of transport have been the main condition for expanding international and interregional trade and humanitarian cooperation between the countries of the Eurasian continent. A striking example of the key role of land transcontinental routes in establishing such cooperation is demonstrated by the Great Silk Road, which was actively used in ancient times and is rapidly reviving in recent years on a new modern technical, technological, and organisational basis.

At the same time, more and more countries of the continent are interested in development of predominantly land international transport communications using several modes of transport with dominant participation of railways. It is sufficient to note that there is demand for new railway routes of the revived Silk Road for foreign trade relations as evidenced by high growth rates of traffic volumes and of the number of container trains in transit through the countries of the Eurasian Economic Union, primarily through Russia, Kazakhstan, and Belarus.

The most important condition for further improving of the efficiency of international land transportation is facilitation of cross-border trade, customs and transport procedures based on application of a system of uniform national and interstate standards and rules, which should use professional concepts and terms unified in content and meaning [1]. At the same time, the terminology introduced into circulation should identify and interpret as correctly as possible the essence of the phenomena and processes being determined in relevant fields of activity: economics, technology, law, etc.

The need to unify transport terminology at the interstate level is also due to the fact that the legal categories enshrined in relevant agreements are then implemented into the legislation of individual states or interregional associations. An example is the Convention on International Multimodal Transport of Goods, which was adopted by the UN in 1980 (hereinafter referred to as the Convention) but has not yet entered into force [2]. Nevertheless, the Convention, albeit

nominally, that is, not legally, but only in fact, secured a certain meaning and semantic content for certain professional terms. Then the corresponding terminology began to be actively used by the expert and professional community in business and scientific research, and in some countries, it has already been integrated into legislation. In particular, ASEAN countries have adopted the Framework Agreement on Multimodal Transport, which is largely based on the provisions of the above-mentioned Convention. Therefore, improvement of the terminology of combined transport should be carried out in conjunction with improvement of the modern international system of sectoral regulatory and legal regulation of such transportation.

In this regard, it should be recognized that the work on improvement and unification of the terminology for combined, intermodal and multimodal transportation is carried out by experts of the Organisation for Co-operation between Railways (hereinafter – OSJD) in cooperation with experts from the UN Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (hereinafter – ESCAP) and other organisations participating in OSJD. This initiative of OSJD experts is gaining special relevance against the background of active digitalisation of the transport industry. In modern conditions, a computer must not only record electronic signals, but also understand the meaning of text and words as well as a person does. That is why, in the era of digital transformation of the economy and social sphere, the international expert community should focus on standardising terms and definitions used by public authorities and the business community. According to experts from the UN Centre for Trade Facilitation and Electronic Business (UN/CEFACT), the use of a single conceptual format increases the efficiency of business processes, reduces the risk of errors, and diminishes the cost and time for execution of international trade transactions [3].

The use of a common terminology in the field of combined, intermodal, and multimodal transportation provides the following effects:

- Semantic compatibility of data in trade and transport contracts.
- Implementation of the principle of a «single form» for documents.
- Development of a methodological basis for classifiers and standards for various types of transportation.



For a number of years, the combined method of delivery of foreign trade goods has been actively used in the EU countries, which has positively affected the dynamics of traffic volumes and freight turnover of railway transport and made a significant contribution to improving the environmental situation in the EU countries [4]. At the same time, in countries from the eastern part of the continent, combined transport has not yet been sufficiently developed. One of the main reasons for the low demand for combined transport for servicing transcontinental cargo flows is associated with terminological differences in individual international and national transport agreements, standards and rules governing the peculiarities of this type of transportation.

In this regard, the *objective* of this study is to identify structural and content differences in the definitions of combined transport and to develop recommendations for their unification for further improvement and harmonisation of transport legislation in the Greater Eurasia.

## METHODOLOGY

Combined transport is one of the progressive ways of implementing the so-called mixed (combining different modes of transport) cargo transportation, which is carried out mainly in interregional and international traffic [5–10].

Mixed transportation on most main routes, as a rule, has significantly higher economic, social and environmental efficiency compared to direct transportation, which is carried out by any single mode of transport. The main source of formation of these effects are the intra-system mechanisms of formation of new properties that are not inherent in individual parts of the transport system (in different modes of transport), which are manifested in lean management (interaction) of all system components: transport and logistics infrastructure, traction and rolling stock, loading, and unloading equipment, specialized devices for placing cargo, etc. [11].

The sustainability of the mixed transportation system is based on the assumption that all the participants in the supply chain are interested in making a rational choice in favour of maximising the economic and environmental benefits of each mode of transport through their integration into a single transport and logistics chain. The organizers of mixed transportation analyse advantages and disadvantages of individual modes of transport, considering specific operating

conditions (they are compared according to relevant criteria: price, speed, weight and size restrictions, compliance with specific conditions, etc.) and select the most suitable mode of transport for each section of the route [12].

The selection of mixed transportation as of a separate species category is of scientific interest for development of a unified methodological basis for organisation and implementation of such transportation, and has also an important organisational, technological, and practical importance.

In mixed transportation, so-called intermodal transport units (ITU) are often used to increase the efficiency of interaction between participants in the transport and technological system. The use of ITU can significantly reduce time and money costs for performing transshipment operations when changing the mode of transport. ITU include containers, swap bodies, semitrailers, and other equipment, structurally adapted to accommodate cargo and to transport it in rolling stock of various modes of transport from the point of departure to the point of destination. At intermediate points, when changing the mode of transport, not the actual cargo is reloaded, but ITU with cargo. Mixed transportation using ITU is called intermodal transportation.

According to the UNECE Glossary «Terminology on Combined Transport» (hereinafter referred to as the Glossary), intermodal transportation also includes carriage of goods in a car, which is transported by other modes of transport on adjacent sections. Moreover, intermodal transportation with participation of road transport is a subspecific category, on the basis of which such a species as combined transport is distinguished. The main feature (difference) of combined transport from other types of intermodal transportation with participation of road transport is that most of the voyage through the territory of the EU countries falls on rail, inland waterway or sea transport, and any initial and (or) final segment of the route where road transport is used, is as short as possible.

According to UNCTAD experts, as a rule, in very rare cases, delivery of foreign trade goods is carried out in the form of a direct transportation, i.e., only by any single mode of transport [13].

In international deliveries, mixed transportation predominates, which has a much more complex structure of transportation and technological operations, uniting a larger number

of participants within the trade and logistics chain. For reasons of efficiency, it is advisable for all the participants in the supply chain, including supervisory authorities, to use a single terminology both in relation to the operations performed and in terms of information characterising the items transported, settlement, customs, and other operations. It is worth noting that regarding the data identifying the customs characteristics of cargo and goods, unity has been achieved at the international level through UN/CEFACT and the World Customs Organization. The use of a unified terminology contributes to harmonisation of customs legislation, transparency of the relevant procedures and, as a result, to an increase in the efficiency of international trade. When organising the process of collecting, rationalising and harmonising transport terms, the UNECE and UN/CEFACT model guidelines on simplification and standardisation of data for international trade can be used [14].

When carrying out a comparative analysis of the terminology of combined transport, the wording from official international and national documents related to this type of transportation was used. First of all, the study referred to the terminology contained in the documents having an interstate status: «European Agreement on Important International Combined Transport Lines and Related Installations (AGTC)» (hereinafter – «European Agreement»), «OSJD Agreement on organizational and operational aspects of combined traffic between Europe and Asia» (hereinafter – «Europe–Asia Agreement»), and Council Directive 92/106/EEC of 7 December 1992 on the establishment of common rules for certain types of combined transport of goods between Member States (hereinafter – EU Council Directive No. 92/106/EEC, Directive), as well as in the above-mentioned UNECE Glossary and interstate standards in force in individual OSJD member countries. Analysing and discussing the content of transport terms consider also theoretical and methodological developments of domestic and foreign representatives of academic science in the field of improving the terminology of mixed transportation.

The study of terms on combined transport based on the listed sources made it possible to generalise official and scientific approaches to determining the meaning and sense of the corresponding terms. This process was

accompanied by a comparison of the content of terms with the technological, organisational, and legal aspects of the subject area characterised by them (by those terms). Then the differences in the content of the studied terms were identified using the methods of semantic and structural and content analysis. Further, feasibility of using distinctive characteristics to identify relevant terms was assessed. With a positive assessment, reasonable recommendations were developed for correcting existing or introducing new terms.

The structural and content characteristic of terms is considered as the definition of the composition of lexical elements of the definition and interpretation of the essential meaning attributed to them. Regarding transport terminology, the following structural components can be distinguished in the structure of the term: used modes of transport and types of rolling stock, equipment, technologies, and infrastructure facilities, taking into account their specialisation, transported objects, legal framework, supervisory procedures, features of document interchange, etc. This research puts the emphasis on structural and content characteristics of the object of combined transport, which, due to technological peculiarities of this method of transportation, has a complex component composition.

## RESULTS

It was noted above that to improve the efficiency of international transportation with participation of different modes of transport, many countries of the Eurasian continent have entered into a number of multilateral agreements, which enshrine obligations of the parties to bring operational characteristics of national infrastructure facilities into compliance with uniform requirements (standards) established in the agreements. At the same time, the analysis of definitions of key terms in these Agreements revealed the presence of certain differences, primarily regarding the object of combined transport.

As a general rule, the object of transportation is cargo. In combined transport, the object is not the actual cargo, but various types of equipment (container, swap body, etc.), trailed rolling stock (semitrailer, trailer, etc.) or vehicles (universal trucks with a fixed body), which directly accommodate cargo, and changing the mode of transport implies not the cargo transshipment but the transshipment of a corresponding object with the cargo.



The «European Agreement» contains, in our opinion, an insufficiently specific definition of the term «combined transport», which in the document means carriage of goods in the same «transport unit» using several modes of transport («The term «combined transport» shall mean the transport of goods in one and the same transport unit using more than one mode of transport»). At the same time, the «European Agreement» does not comprise any additional clarification of what should be understood by the corresponding transport unit.

Some explanations of the characteristics of a «transport unit» which is the object of combined transport under the «European Agreement» are given in the Glossary «Terminology on Combined Transport». The third chapter of the Glossary, which is called exactly «Transport Units», describes various types of vehicles related to road, rail, and sea transport. However, not all types of transport units listed in this section of the Glossary can perform the function of «one and the same transport unit», as prescribed by the «European Agreement» for an object of combined transport. Considering the technological features of implementation of combined transport, the following types of transport units from the Glossary can be attributed to the objects of combined transport: articulated vehicle, road train, trailer, semitrailer, bimodal semitrailer. These types of «transport units» are intended for operation in combination with motor vehicles (trucks with a fixed body or tractor units or «motor vehicles» as described in the English version of the term in the Glossary). Moreover, the actual trucks with a body that do not use trailed rolling stock, according to the formal characteristics of the Glossary, do not belong to «transport units» and, as a result, do not form a part of the object of combined transport according to the definition of the «European Agreement». In our opinion, such a characteristic of the object is not without its drawbacks, and therefore it is desirable to specify the wording of the term «combined transport» in the «European Agreement».

The «Europe–Asia Agreement» provides a comparatively detailed description of the object of combined transport, to which the so-called cargo units are assigned, and their species are listed in parentheses: container, swap body, semitrailer, motor vehicle. It is worth noting that this structure of components of a combined transport object is complex in its composition

since it contains not the same type of objects if we refer to the classification of the Glossary.

The first category comprises containers, swap bodies and semitrailers, which are referred to as so-called «intermodal transport units» (ITU) and are a kind of «cargo units». As it is known, ITU are structurally unsuitable for autonomous motion. Therefore, ITU for combined transport (loaded or empty) are located on the vehicle, and when changing the mode of transport, it is not the cargo, but the ITUs that are transhipped. At the same time, semitrailers in the Glossary simultaneously refer to both ITU and «transport units», but do not refer to «cargo units», a variety of which are ITU, which, in our opinion, introduces contradictions in the structure of the terms of this document.

The second category comprises motor vehicles, which, as noted above, include motorised trucks with a fixed body, adapted to transport various types of goods, including ITU and trailers. It is worth noting that, according to the formal characteristics from within the Europe–Asia Agreement, road trailers do not belong to the objects of combined transport, although in fact they are such and their transportation in railway wagons is provided for by the provisions of SMGS [OSJD Agreement on International Railway Freight Communications].

Summarising the results of the analysis of definitions of combined transport from the «Europe–Asia Agreement» and the «European Agreement», it is possible to highlight the main structural and content differences in the used objects of combined transport. The text of the «Europe–Asia Agreement» explicitly states that the number of objects of combined transport includes both cargo units and vehicles, which are understood as vehicles with fixed bodies. In turn, the text of the «European Agreement» mentions the «transport unit» only as the object of combined transport, while cars do not belong to the «transport unit».

It should be noted, however, that with regard to the structure and content of these terms, there are certain differences between the Glossary, the Europe–Asia Agreement and the OSJD Agreement on International Railway Freight Communications (SMGS), for example, see SMGS Article 2. It is also worth noting that the rolling stock classification system from the Glossary, the Europe–Asia Agreement and SMGS is not fully consistent with the structure of those categories contained in «OK



034-2014 (CPA 2008). All-Russian classifier of products by type of economic activity)», i.e., in its subsection 29 «Motor vehicles, trailers and semitrailers» of section C «Manufacturing products», though the latter document has a lower status in the legal hierarchy. However, a detailed study of these issues is beyond the scope of this study.

The information provided on the existing structural and content differences in the Agreements and Glossaries gives grounds to assert that the formulations of the «combined» transport object contained in them can be interpreted in a sufficiently broad sense, which does not contribute to harmonisation of the industry's legislation between the countries of the continent.

A more detailed description of the «combined transport» object is contained in the EU Council Directive, which was adopted about a year after the signing of the European Agreement and applies only to EU countries. The Directive, in contrast to the European Agreement, provides specific criteria for «combined transport», including the detailed structure of the transport object:

1) The object of transportation refers to vehicles or intermodal transport units in which cargo is actually placed during transportation:

- truck (lorry – in the English version of the term in the Directive),
- trailer, semitrailer with or without a tractor,
- removable body, container.

2) Road transport is used at the initial and (or) final section of the multimodal route.

3) The length of railway or water sections of the multimodal route exceeds 100 km in a straight line.

4) Cargo must be delivered by road to or from the nearest railway station in relation to the places of departure or destination of multimodal transportation, respectively.

5) The length of the road section to or from the sea (river) port relative to the places of departure or destination of multimodal transportation, respectively, should not exceed 150 km in a straight line.

The adoption of the EU Council Directive and implementation of state support measures for combined transport provided for in it (as a rule, refund, or reduction of the transport tax) ensured a reduction in the volume of direct (unimodal) road transportation, which led to redistribution of freight traffic to other more «environmentally friendly» modes of transport, such as rail transport, inland waterway, and sea transport. These measures have made a significant contribution to reducing emissions of harmful substances and greenhouse gases into the atmosphere, as well as reducing road accidents, noise and congestion rates. At the same time, experts note that the definition of the term «combined transport» in the Directive has not either avoided drawbacks that prevent many carriers from using economic support measures [15]. In this regard, the EU is discussing amendments to Directive 92/106/EEC. In particular, it is planned to change the procedure for calculating the length of the sections of combined transport, on which road vehicles are used. For intra-European routes, the carriage on which is regulated by the Directive, this norm, of course, should be the same for all the EU countries. However, for transcontinental supply chains, it may be more rational if each of the parties (states) to the Combined Transport



Agreements will independently establish separate criteria for combined transport, which will consider geographical features of the regions, the actual configuration and density of the transport network. At the same time, it is important that the structural and content characteristics of the combined transport object be uniform in the regulatory documents of all parties to the agreements. Otherwise, the legal regulation of the combined transportation of goods in the same type of transport or cargo units in different countries will differ, and then, perhaps, when changing the mode of transport, the cargo itself will be transhipped, and not cargo or transport units with cargo.

Terminological differences can be seen not only in legislative acts, but also in interstate standards and national rules. For example, in GOST [State Standard] 34530-2019 «Interstate standard «Railway transport. Basic concepts. Terms and definitions» (clause 2.4.19) and in GOST 34056-2017 «Interstate standard Railway transport. Rolling stock. Terms and definitions» (p. 3.3.21) the definition of the term «platform for combined transport» is given, which is understood as a flat wagon intended for transportation of containers, road trains, caravans, semitrailers and swap bodies. As we can see, the number of objects for transportation of which the corresponding platform is intended does not include actual vehicles that transport cargo in a fixed body, and not in a trailer or semitrailer. It can also be noted that in the new Russian rules for transportation of certain types of rolling stock of road transport by rail (approved by order of the Ministry of Transport of the Russian Federation in January 2020), vehicles are not included in the list of transported objects, while Appendix 3 to SMGS provides for the possibility of their transportation along with road trains, semitrailers, trailers, swap bodies, etc. These rules are not related to combined transport but considering the prospects for development of combined transport, there may be a need for a more detailed discussion of the Russian rules for transportation of vehicles in freight wagons.

Most likely, this issue will be raised after adoption of a new law on direct mixed-mode (combined) transport, the draft of which is being actively discussed in the professional community. Article 788 of the Civil Code of the Russian Federation defines the fundamentals of relations between transport organisations in implementation of direct mixed transportation carried out under

a single transport document. This article states that the procedure for organising such transportation is determined by agreements between carriers of different modes of transport and is regulated by a special law on direct mixed (combined) transportation. It is noteworthy that in the title of the future law the terms «direct mixed» and «combined» transportation are used as equivalent, which, in our opinion, is not fully consistent with the meaning of the corresponding concept.

The terms «direct mixed» and «combined» transportation are varieties of a broader concept of «mixed transportation». At the same time, these terms refer to various taxonomic groups within a superspecific class: «direct mixed transportation» characterises the organisational and technological features of implementation of mixed transport under a single transport document, and «combined transport» characterises the type of non-transferred (intermodal, without transshipment) transportation performed with participation of road transport on the initial and (or) final sections of the mixed route. Accordingly, equalisation of meanings of the concepts of «direct mixed» and «combined» transportation and, as a consequence, application of the same regulatory requirements to them can complicate regulation of these types of mixed transportation. Therefore, it makes sense to discuss feasibility of changing the title of such a law in the Civil Code, excluding combined transport from it.

## DISCUSSION, CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

To ensure a real and effective integration of transport systems of the Eurasian continent, it is important to ensure generality of the conceptual apparatus of combined transport intended for their regulation at international and national levels, so that all market participants use equivalent formulations of professional terms. This is important to ensure harmonisation of transportation rules, shipping documents and other regulatory legal documents on combined transport in international traffic, which, in turn, will contribute to the growth of international trade, reduce the delivery time of goods, and increase their safety and, ultimately, reduce consumer costs on the Eurasian continent.

It is worth recognising the rational idea and successful practice of using the Glossary as a reference document with detailed formulations

and detailed explanations of professional terms that are used in sectoral international agreements. At the same time, it is advisable to clarify, supplement and systematise individual definitions in the Glossary. For example, the Glossary categorises semitrailers as «transport units» and at the same time they are part of ITU, which are a kind of «cargo units». In turn, trailers, which are also classified as «transport units», are not part of ITU objects. Of course, trailers have structural differences from semitrailers, but technological differences in terms of organising the transportation process with their participation are not so significant.

The Glossary, when describing the content of many terms, uses the term «Motor vehicle», which in this document does not have its own definition. The meaning of this term, of course, can be established from the context of its use in defining other concepts. For example, in the definitions of certain types of «transport units» (such as an articulated vehicle, trailer, semitrailer, road train), the concept of «motor vehicle» is used as a superspecific category. Considering the content and meaning of the definitions of these terms, «motor vehicle» is understood as the actual «car». Three important conclusions follow from this thesis.

Firstly, the definition of the term «Intermodal transport» from the Glossary uses two transport objects only: «cargo unit» and «motor vehicle». Then it turns out that if a vehicle (actually a car) does not belong to the objects of the group of «transport units», then transportation of cargo in a semitrailer, trailer and even a wagon in mixed traffic using technologies excluding transshipment (for example, cargo in a wagon is transported on a sea ferry) does not belong to the category «intermodal transport». Therefore, the content of the term «intermodal transport» in the Glossary is controversial and it seems appropriate to supplement the list of objects transported using technologies without transshipment also with «transport units». For example, trailers, road trains, articulated vehicles, wagons, and other rolling stock suitable for traffic without transshipment. If this is not done, then it will be necessary to select a new term to characterise intermodal (seamless, without transshipment) transportation with participation of «transport units».

Secondly, in the «European Agreement» only «transport units» are included in the composition of combined transport objects. Consequently, according to this document, it does not apply to



transportation without transshipment involving road vehicles and other «cargo units» such as a container. While other regulatory documents, including the «Europe–Asia Agreement», Council Directive of the EU No. 92/106/EEC, regulate transportation with such objects. Therefore, it is desirable to expand and specify the objects of combined transport in the «European Agreement» to ensure harmonisation of regulatory requirements with other documents regulating similar transportation. General recommendations for adjusting the combined transport object will be formulated using the example of the «Europe–Asia Agreement», the content of which also needs to be clarified in terms of the composition and structure of the corresponding object.

In the current version of the Europe–Asia Agreement, only one object is actually indicated as an object of combined transport: a «cargo unit», the structure of which is then presented in brackets as its four types (container, swap body, semitrailer, vehicle). The work showed that these varieties belong to different taxonomic groups: a container and a swap body are «cargo units», a semitrailer is a «transport unit», while the Glossary and SMGS mean quite different objects under the term «vehicle». At the same time, trailers were not included in the list of combined transport objects in the Europe–Asia Agreement.



In this regard, the following structure of the combined transport objects is proposed. It is logical to distinguish three structural parts in it: «cargo units», «transport units» and «road vehicles (automobiles)». The first two groups can be further characterised by specific species. For example, it is advisable to represent the group of «cargo units» as «intermodal transport units»: containers and swap bodies. The group of «transport units» can be represented by trailers, semitrailers, road trains, articulated vehicles.

Thirdly, the «Europe–Asia Agreement» has a higher legal status than interstate standards, therefore it seems appropriate to consider the issue of changing two interstate standards mentioned above (GOST 34530-2019 «Interstate standard «Railway transport. Basic concepts. Terms and definitions» (p. 2.4.19) and GOST 34056-2017 «Interstate standard «Railway transport. Rolling stock. Terms and definitions»») in terms of correcting the definition of the term «platform for combined transport» considering the structure of the object of such transportation proposed above.

The above recommendations for improving transport terminology are due to objective changes in transportation technologies. It is quite natural that for several decades since the adoption of the «European Agreement» and the «Europe–Asia Agreement» innovations have appeared in the regulation and implementation of combined transport. It would be advisable to reflect them in both Agreements. To ensure synchronisation of the process of discussion and development of new rules for regulating combined transport by all parties to the Agreements, it may be easier to return to the idea of concluding a new, comprehensive Eurasian Agreement on the most important combined transport lines based on the existing Agreements. The new agreement would reflect successful accumulated experience of the parties to these Agreements, the developed proposals for improving requirements for organisation of international combined transport, as well as update the transport terminology, which is developing in the wake of rapidly

changing technologies of combined, multimodal, intermodal and other types of transportation.

## REFERENCES

1. Ramberg, J. International commercial transactions [Mezhdunarodnie kommercheskie tranzaktsii]. Transl. from English. Ed. by N. G. Vilkova. Moscow, Infotropic Media, 2011, 896 p.
2. Larin, O. N. Regulation of International Transportation: Modern Aspects. *World of Transport and Transportation*, 2019, Vol. 17, Iss. 2 (81), pp. 296–305. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-2-296-305>.
3. UNECE. Supply Chain Reference Data Model Business Requirement Specification. CEFACT/15DEC/2016. [Electronic resource]: [http://www.unece.org/fileadmin/DAM/uncfact/BRS/BRS\\_SCRDM\\_v1.0.0.2.pdf](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/uncfact/BRS/BRS_SCRDM_v1.0.0.2.pdf). Last accessed 11.08.2020.
4. Aman, Dua; Deepankar, Sinha. Quality of multimodal freight transportation: a systematic literature review. *World Review of Intermodal Transportation Research (WRITR)*, 2019, Vol. 8, Iss. 2, pp. 167–194. DOI: <https://doi.org/10.1504/WRITR.2019.099136>.
5. Mathisena, T. A., Hanssena, Th.-E. S. The academic literature on intermodal freight transport. *Transportation Research Procedia*, 2014, Vol. 3, pp. 611–620. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.10.040>.
6. Intermodal Freight Transport [electronic resource]: Institutional Aspects / Organisation for Economic Co-operation and Development. Paris: OECD Publishing, 2001. 76 p. DOI: 10.1787/9789264189126-en.
7. Floden, J. Modelling Intermodal Freight Transport. The Potential of Combined Transport in Sweden. Goteborg, BAS Publishing, 2007, 284 p.
8. Rodrigue, J.-P. The Geography of Transport Systems, 5<sup>th</sup> ed., New York, Routledge, 2020, 456 p. ISBN 978-0-367-36463-2.
9. Cavallaro, F., Sommacal, G., Božičnik, S., Klemenčič, M. Combined transport in the Alps: Reasons behind a difficult acceptance and possible solutions. *Research in Transportation Business & Management*, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2020.100461>.
10. Vakulenko, S. P., Larin, O. N., Lyovin, S. B. Theoretical Aspects of Interaction Mechanisms in Transport Systems. *World of Transport and Transportation*, 2014, Vol. 12, Iss. 6 (55), pp. 14–27. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/169>. Last accessed 11.08.2020.
11. Larin, O. N. Peculiarities of terminology for transportation with participation of several types of transport [Osobennosti terminologii po perevozkam s uchastiem neskol'kikh vidov transporta]. *Intellect. Innovation. Investments*, 2020, Iss. 2, pp. 107–114. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42926165>. Last accessed 11.08.2020.
12. UNCTAD. Review of Maritime Transport 2018. UNCTAD/RMT/2018. [Electronic resource]: [https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2018\\_en.pdf](https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2018_en.pdf). Last accessed 11.08.2020.
13. UNECE. Data Simplification and Standardization for International Trade. Recommendation 34. ECE/TRADE/400.
14. 2018 Report On Combined Transport in Europe, UIC-ETF, 2019, 65 p. ISBN 978-2-7461-2798-2. ●

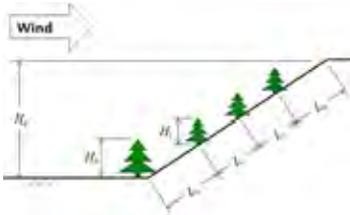
### Information about the author:

Larin, Oleg N., D.Sc. (Eng), Professor at the Department of Logistic Transport Systems and Technologies of Russian University of Transport, Moscow, Russia, [larin\\_on@mail.ru](mailto:larin_on@mail.ru).

Article received 17.07.2020, revised 11.08.2020, approved 23.01.2021, accepted 26.04.2021.

# T

## SAFETY, SUSTAINABILITY, ENVIRONMENTAL PROTECTION

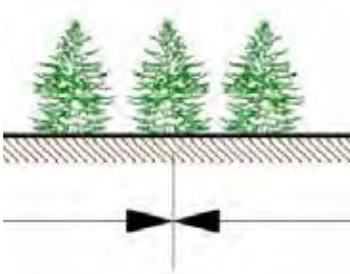


### ECOLOGY

236

*What can be retained by living barriers besides snowdrifts?*

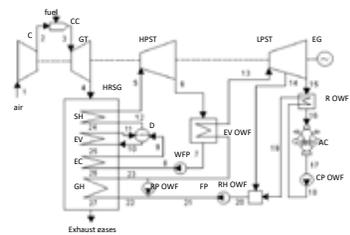
*System view of environmental effect of forest plantations along highways.*



### RECOVERY OF ENERGY RESOURCES

242

*Organic Rankine cycle as an effective and quite universal solution in energy saving.*





# Living Snow Fences: International Practices



Daria Yu. MISHINA

**Daria Yu. Mishina**

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

✉ [daria.korneeva@list.ru](mailto:daria.korneeva@list.ru)

## ABSTRACT

*In winter, in the countries with snow covered regions, one of the main tasks of road maintenance is to combat snow deposits, snowpacks and snowdrifts on the roadway. Living snow fences consisting of tree and shrub plantings are among known world practices to protect roads against effects of snow deposits. They are environmentally friendly, durable and have great snow retention capacity. However, there are several constraints regarding application of those practices.*

*The analysis of the design, spacing and planting schemes refers to Russian and foreign living snow fences used to protect highways, considers the features, advantages, and disadvantages of living fences in different countries. Japanese and American designs are reviewed as international experience. The influence of the state of trees on the efficiency of their snow-retaining function has been determined. As a result, the need for monitoring and proper maintenance of existing living snow fences throughout their life cycle was confirmed using the examples of surveys of forest plantations*

*in Kazakhstan and in Volgograd region of the Russian Federation.*

*The author presents promising directions for improving the structures and planting schemes of snow storage living fences, namely, an integrated approach to their design as of a protection not only against snowdrifts, but also against pollutants. Such solutions include the design of protective living fences using only tall shrubs, providing the best blowing of roadside areas and dispersion of contaminants. Another solution is to complement the species planted within living fences with willow and corn. Besides, referring to global climate changes, an important task for modern science has been identified, that is to update the current standards for the design of living fences under the current meteorological conditions.*

*Recommendations on the use of mathematical modelling with the help of computer software are suggested regarding development of new configurations of living fences, assessment of their effectiveness, as well as on the adoption of modern technologies such as video cameras and drones during field tests.*

**Keywords:** *transport, living snow fences, snow protection, snow transport, snow fighting, winter maintenance of highways.*

*For citation:* Mishina, D. Yu. Living Snow Fences: International Practices. World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 2 (93), pp. 236–241. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-13>.

**The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.  
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.**

## INTRODUCTION

To provide safe and uninterrupted traffic on roads in winter, many countries with cold climates fight snowdrifts on the roadway. The snow element is mainly typical for areas of very difficult and especially difficult snow fighting according to the zoning of the territory of Russia [1; 2]. Globally, Canada, Japan, Kazakhstan, Scandinavian countries, the USA, and others face the same challenge.

For more than a century of use, snow-retaining plantation forests have proved to be the most effective tool of protection against snowdrifts. The design of living snow fences is carried out based on quantitative assessment of the parameters of blizzard activity and the degree of snowdrift extent on highways. Each country has its own peculiarities of choosing the spacing scheme and the range of species to be planted.

It is important to note that it is at the stage of designing new construction or reconstruction of highways that it is necessary to proceed with planting of living snow fences. At the stage of operation of already built and existing highways, only monitoring and minor adjustments of the adopted design decisions are possible.

The *objective* of the study was to reveal promising direction allowing to improve the design and planting schemes of living snow fences considering an integrated approach to their design as of a protection not only against snowdrifts, but also against pollutants.

## RESULTS

The widespread use of tree and shrub plantings is due to their significant snow-retention capacity, they are environmentally friendly and have an unlimited service life. Nevertheless, along with significant advantages, there are some constraints for their use. Those constraints include unfavourable soil and geological conditions, location of a road in vicinity of agricultural land, significant land areas allocated for the plantings (the width of those areas [in Russia], according to the recommendations of ODM 218.5.001-2008<sup>1</sup> and ODM 218.2.045-2014<sup>2</sup>, is from 15 to 100 m from the edge of the roadbed to forest plantations

<sup>1</sup> ODM [Road industry's methodological document] 218.5.001-2008. Methodical recommendations for protection and cleaning of roads from snow.

<sup>2</sup> ODM [Road industry's methodological document] 218.2.045-2014. Recommendations for design of forest snow-retaining plantations along highways.

plus the width of the planting itself, depending on the volume of snow transport). The normative values are approved based on scientific works [1–3], carried out in the second half of the 20<sup>th</sup> century. Besides, additional snow protection measures must be provided for the period of growth of young seedlings to a state of mature plant during new construction or reconstruction of highways.

## Russian Experience of Using Tree and Shrub Plantings

Regulatory schemes for planting living snow fences, rules for reinforcing existing plantings, assortment and requirements for planting material are stipulated in the national recommendations of ODM 218.2.045-2014. The selection of design and schemes is based on the volume of snow transported to the road.

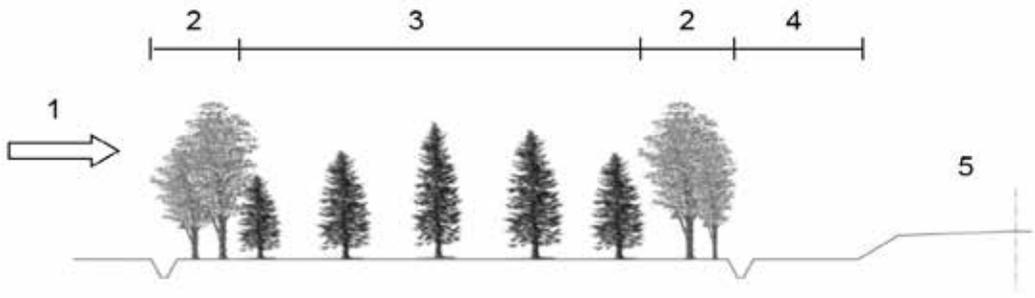
An important factor in effective operation of living snow fences refers to monitoring and maintenance during the period of their operation. Young seedlings, under the influence of negative factors, may not reach the required size or undergo drying out and decay, the shrubs may be non-pubescent. Upon reaching maturity, trees become sparse and can be damaged during the life cycle. Increase in density of trees and shrubs is reached by cutting boughs or increasing the number of rows of trees [3]. According to ODM 218.011-98<sup>3</sup>, works to strengthen the existing living snow fences comprise soil cultivation, considering regional agrotechnical requirements, the planting (sowing) of plants, the addition of crops, and agrotechnical care of the plantings.

For example, according to [4] field studies of the state of roadside forest plantings were carried out in Volgograd region in 2019 along R-22 «Caspian» (Moscow–Astrakhan) and R-228 (Volgograd–Syzran) highways, which made it possible to establish their poor condition, stunted growth, degradation, and dry treetops on both road segments.

In such cases, tree and shrub plantings are subject to immediate reforestation felling to ensure their renewal and coppice generation. Since living fences, as a rule, are located in the right-of-way of a motor road, the responsibility for performance of these works lies with road maintenance services, which, in turn, do not always have competent specialists in this area on

<sup>3</sup> ODM [Road industry's methodological document] 218.011-98. Public roads. Methodical recommendations for landscaping of highways.





Pic. 1. Standard width woods of living fences in Japan: 1 – direction of the prevailing wind in winter, 2 – fast-growing broadleaf trees, 3 – evergreen trees, 4 – snow-piling area, 5 – road [5, p. 37].

their staff. As a result, living fences are not able to fully function as snow retention instruments.

**Foreign Experience of Using Tree and Shrub Plantings**

In many foreign countries with a cold and snowy climate, living snow fences snow-retention forest plantations are also used as protection against snowdrifts on highways. The rules for their application in each country are determined based on meteorological and hydrogeological conditions, as well as on the features of the terrain and characteristics of the adjacent territory.

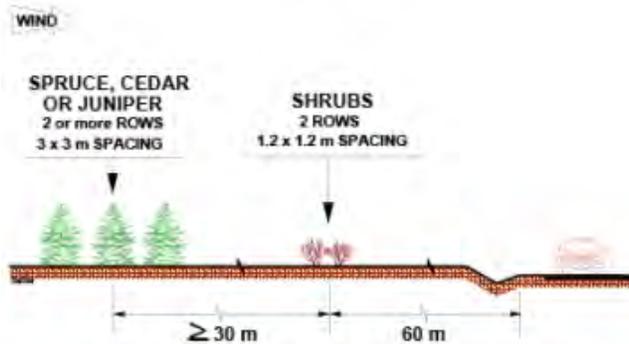
For the purpose of snow fighting in Japan, for example, living snow fences and «snowbreak woods» are very actively used for protection of highways. In 2009, the length of living snow fences on the highways of the island of Hokkaido was about 80 km [5]. However, the standard width of living fences is 10, 20 or 30 m [5; 6] (Pic. 1). Based on the works of Russian specialists [1; 2], it can be assumed that such small distances are possible with small amounts of snow transport since in such cases the snow storage capacity of living fences is small, and

a snow plume may come out onto the carriageway of the highway.

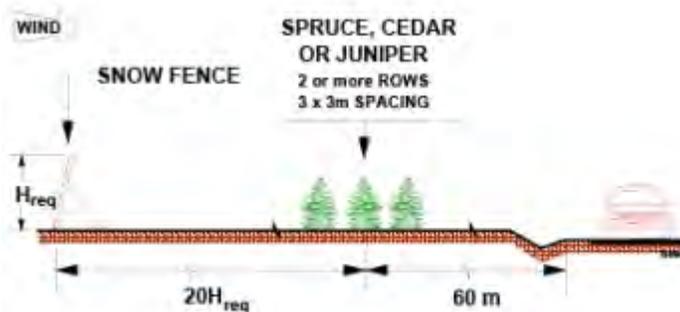
Currently, Japanese scientists continue to study the effectiveness of living snow fences depending on the composition of species, condition of plants during operation, and planting schemes. So, the study [5] comprised the results of a survey regarding, i.e., causes of wilting of the trees, the influence of the direction of winds, of sunshine on plants' growth and, consequently, assessment of the snow storage capacity of the living fence under such conditions.

Living snow fences are also widespread in the northern states of the USA. According to the report of the American scientist Ronald D. Tabler [7], depending on the volume of snow transport, the minimum plant height should vary from 1,2 to 2,8 m, and the distance between the edge of the roadbed and plantings should vary from 30 to 90 m. The author recommends planting additional rows of shrubs during the growth of young seedlings (Pic. 2), or the installation of snow retention devices (Pic. 3).

R. D. Tabler [7] also proposed planting shrub rows in a staggered pattern on steep embankments (Pic. 4). His followers [8; 9] extended this solution



Pic. 2. Temporary scheme for strengthening the planting of young trees with shrub rows [7, p. 234].



Pic. 3. Temporary scheme for placement of temporary snow fence to protect and reinforce young trees [7, p. 233].

for areas with steep slopes (1:1.5), such as approaches to bridge structures. The proposed configuration of trees and shrubs to reduce snowdrifts consists of a row of vegetation at the toe of the embankment followed by one or more rows on the embankment slope (Pic. 5). The number of rows depends on the geometry of the embankment. Obviously, this scheme must be applied with caution, providing visibility on the road.

In the Republic of Kazakhstan, the issue of combating snowdrifts is extremely acute. Climatic conditions and the features of the country's territory determine large volumes of snow transported to the roads in winter (in the steppe zone of Northern Kazakhstan, from 300 to 600 m<sup>3</sup>/m, and in some areas even up to 800–1200 m<sup>3</sup>/m of snow are brought to roads). Roadside living snow fences protect from snowdrifts the motor roads (59,7 thousand hectares) and railways (66,8 thousand hectares). The norms and rules for planting living snow fences are generally similar to those in Russia. Existing living snow fences protect 30 % of all the roads. However, according to research [10], in recent years, work on creation of living snow fences is practically not carried out, and the existing plantings due to insufficient care,

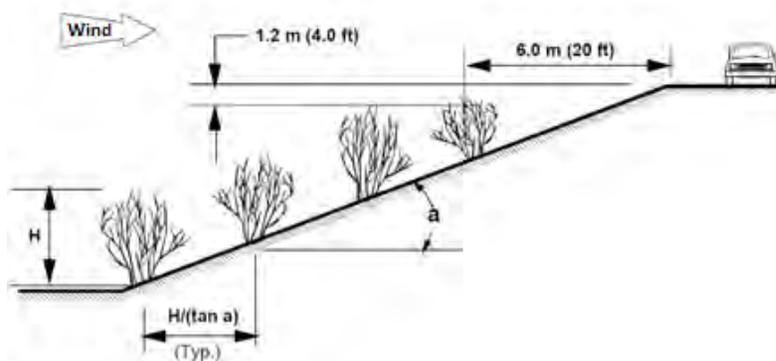
unauthorised felling by the population require reconstruction and restoration. This circumstance, in turn, confirms the need for proper maintenance of plants to ensure their efficiency.

### Promising Directions to Improve Living Snow Fences

In addition to the retention of snow during the period of blizzard activity, living snow fences can influence the degree of concentration of harmful substances. With an integrated approach to design, living fences are capable of simultaneously ensuring snow resistance of the motorway, reducing concentration of exhaust gases and, as a result, improving the environmental characteristics directly above the roadway [11].

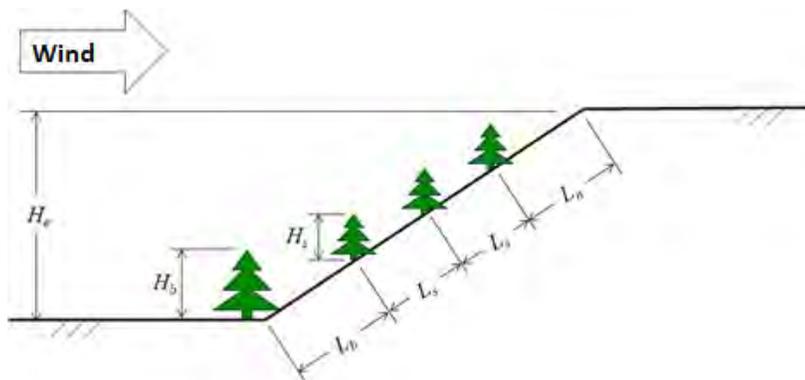
To meet the conditions of snow protection and to reduce concentration of harmful emissions, A. S. Sushkov [12] proposed the design of protective living fences using only tall shrubs (3–6 m) (Pic. 6). In his opinion, such a design will provide the best blowing of roadside areas and will lead to dispersion of contaminants.

It is important to note the indisputable fact of climate change in general and the need to update the current zoning scheme for the territory of the Russian Federation in terms of the difficulty of

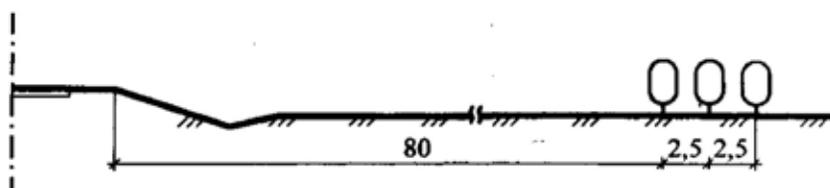


Pic. 4. Pattern of planting shrubs on step embankments [7, p. 235].





Pic. 5. Scheme of plantings at the approaches to bridge structures [8].



Pic. 6. Design of the snow-protective living fence considering dispersion of contaminants [12].

snow fighting on highways. Therefore, another important task of modern science is to clarify the norms for design of living fences at the federal and regional levels, considering the current climatic conditions and relief.

We can also highlight some of the directions of the latest international research. The American scientists have developed the concept of roadside plantings of fast-growing willow [13–15]. The growth rate of willow is several times higher than that of alder, spruce, or pine. In addition to snow retention, willow can perform the protective function regarding water and land resources and to reclaim contaminated soil. The US experience is being considered for implementation in the Republic of Belarus [16].

Another interesting direction of research by American specialists is the inclusion of rows of corn in the composition of living snow fences, as, for example, it is done in the states of Iowa and Wisconsin [17; 18], guided by simplicity and low cost of this method of snow fighting. However, in this case, there can be a higher risk of vandalism by the local population.

### Recommendations for Development of Research

When carrying out research on new samples or configurations of living fences, at the first stage, one should resort to mathematical

modelling using computer software, which allows testing in the shortest possible time without limiting the number of samples and testing time, does not require to go to «the field». Such programs are based on the Navier–Stokes system of equations describing the motion of a viscous incompressible fluid [19, pp. 139–142]. Ansys Fluent, which is among world leaders, is a computer program that, with a sufficient degree of accuracy, allows simulating a blizzard flow and snow deposits in the area of snow fences. Among Russian domestic developments, one can single out FlowVision [20].

An alternative research method is physical modelling in laboratory conditions, for example, in wind tunnels. Full-scale tests are extremely time consuming and costly, nevertheless, they are necessary to evaluate the performance of new samples under real operating conditions. In the age of modern technology, video cameras, drones, and computing help to conduct field tests by implementing air and ground photogrammetry with subsequent development of a three-dimensional relief model.

### SHORT CONCLUSION

For many years, snow storage and retention living fences have demonstrated their efficiency in combating snow on highways in different

countries and, as a result, they significantly reduce the financial costs of winter highway maintenance. In turn, the efficiency depends on a competent project, implementation of plantings, and further proper care.

At the same time, in the context of a lack of land allocation for placement of living snow fences, of a search for a compromise for their use near agricultural lands, and of an increase in the urgency of the environmental problem, the current situation encourages the scientific community to develop and optimise the composition, assortment, design, spacing and implementation schemes of living snow fences.

## REFERENCES

1. Byalobzhesky, G. V., Dyunin, A. K., Denisov, B. N. Winter maintenance of highways [*Zimnee sodержanie avtomobilnykh dorog*]. Moscow, Transport publ., 1966, 224 p.
2. Byalobzhesky, G. V., Dyunin, A. K., Plaksa, L. N., Rudakov, L. M., Utkin, B. V. Winter maintenance of highways [*Zimnee sodержanie avtomobilnykh dorog*]. Ed. by A. K. Dyunin. 2<sup>nd</sup> ed., rev. and enl. Moscow, Transport publ., 1983, 197 p.
3. Reference encyclopedia of the road builder. Vol. 2. Repair and maintenance of highways. Edited by D.Sc. (Eng), Professor A. P. Vasiliev. Moscow, 2004. [Electronic resource]: <https://files.stroyinf.ru/Data1/51/51537/>. Last accessed 23.05.2021.
4. Rulev, A. S., Anopin, V. N., Rulev, G. A., Matveeva, A. A. Landscape planning as a tool for managing roadside complexes [*Landshaftnoe planirovanie kak instrument upravleniya pridorozhnyimi kompleksami*]. *Bulletin of Nizhnevolskiy agricultural university complex: science and professional education*, 2019, Iss. 2 (54), pp. 55–63. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-02-5
5. The Highway Snowstorm Countermeasure Manual (Abridged Edition). Snow and Ice Research Team. Civil Engineering Research Institute for Cold Region 2011. [Electronic resource]: [https://www2.ceri.go.jp/fubuki\\_manual/index\\_e.html](https://www2.ceri.go.jp/fubuki_manual/index_e.html). Last accessed 24.03.2021.
6. Yasuhiko, I. The growth of highway snowbreak woods in Hokkaido and their snow control effectiveness. 15<sup>th</sup> International Winter Road Congress 2018. Poland, Gdansk 20.02.2018–23.02.2018. [Electronic resource]: <https://proceedings-gdansk2018.piacr.org/en/documents/session-documents/2273.html>. Last accessed 24.03.2021.
7. Tabler, R. D. Controlling blowing and drifting snow fences and road design. Final Report, 2003. [Electronic resource]: [https://sicop.transportation.org/wp-content/uploads/sites/36/2017/07/NCHRP-20-07147\\_Controlling-Blowing-Snow-Snow-Fence\\_Tabler\\_2003.pdf](https://sicop.transportation.org/wp-content/uploads/sites/36/2017/07/NCHRP-20-07147_Controlling-Blowing-Snow-Snow-Fence_Tabler_2003.pdf). Last accessed 24.03.2021.
8. Petrie, J., Qi Y., Cornwell, M. [et al]. Design of Living Barriers to Reduce the Impacts of Snowdrifts on Illinois Freeways. Technical Report, November 2020. DOI: 10.36501/0197-9191/20-019.
9. Blanken, P. D. Designing a Living Snow Fence for Snowdrift Control. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, Vol. 41, Iss. 4, 2009, pp. 418–425. DOI: <https://doi.org/10.1657/1938-4246-41.4.418>.
10. Zdornov, I. A., Kapralov, A. V. Essay on the state of forest plantations in the Republic of Kazakhstan [*Ocherk sostoyaniya lesnykh nasazhdenii Respubliki Kazakhstan*]. *National Association of Scientists*, 2015, No. 4–5 (9), pp. 153–157. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28878987>. Last accessed 24.03.2021.
11. Kanishchev, A. N. Reducing the negative impact of road transport due to the optimal location of living fences [*Snizhenie negativnogo vozdeystiya avtomobilnogo transporta za schet optimalnogo raspolozheniya lesnykh polos*]. *Scientific Bulletin of Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and architecture*, 2014, Iss. 2 (34), pp. 71–76. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21578715>. Last accessed 24.03.2021.
12. Sushkov, A. S. Influence of the protective forest belt on the ecological state of the roadside territory [*Vliyaniye zashchitnoi lesopolosy na ekologicheskoe sostoyanie pridorozhnoi territorii*]. *Actual directions of scientific research of 21<sup>st</sup> century: theory and practice*, 2014, Vol. 2, Iss. 3–4 (8–4), pp. 160–164. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21578715>. Last accessed 24.03.2021.
13. Smith, D. J., Zamora, D., Lazarus, W. The economics of planting and producing biomass from willow (*Salix* sp.) living snow fences. *Agroforestry Systems*, 2016, Vol. 90 (5). DOI: 10.1007/s10457-016-9935-x.
14. Ogdahl, E. Establishment and potential snow storage capacity of willow (*Salix* spp.) living snow fences in south-central Minnesota, USA. *Agroforest Syst.*, 2016, Vol. 90, pp. 797–809. DOI 10.1007/s10457-016-9894-2.
15. Ogdahl, E., Zamora, D., Johnson, G., Wyatt, G. Comparison of woody species for use in living snow fences in the midwestern United States. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2018, vol. 73 (3), pp. 321–328. DOI: 10.2489/jswc.73.3.321
16. Rodkin, O. I., Volk, T. Bioenergetic willow plantations: the US experience for Belarus [*Bioenergeticheskie plantatsii ivy: opyt SShA dlya Belarusi*]. *Nauka i innovatsii*, 2017, Iss. 11 (177), pp. 64–68. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32555985>. Last accessed 24.03.2021.
17. Constantinescu, G., Muste, M., Basnet, K. TR-626: Optimization of Snowdrifting Mitigation and Control Methods for Iowa Conditions. Final Report, 2015. DOI: 10.13140/RG.2.2.29517.28642.
18. Highway Maintenance Manual, 2017. [Electronic resource]: <https://wisconsinodot.gov/Documents/doing-bus/local-gov/hwy-mnt/mntc-manual/chapter06/06-15-41.pdf>. Last accessed 24.03.2021.
19. Samoilovich, G. S. Hydroaeromechanics: Study guide [*Gidroaeromekhanika: Uchebnoe posobie*]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1980, 280 p.
20. Samodurova, T. V., Gladysheva, O. V., Alimova, N. Yu., Boncheva, E. A. Modeling the process of snow deposition on highways in the FlowVision program [*Modelirovanie protsessa otlozheniya snega na avtomagistralyakh v programme FlowVision*]. *Scientific journal of construction and architecture*, 2020, Iss. 2 (58), pp. 72–83. DOI 10.36622/VSTU.2020.58.2.006. ●

### Information about the author:

**Mishina, Daria Yu.**, Ph.D. (Eng), Associate Professor of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia, [daria.korneeva@list.ru](mailto:daria.korneeva@list.ru).

Article received 24.02.2021, revised 24.03.2021, approved 26.04.2021, accepted 05.05.2021.





# Analysis of the Issue of Recovery of Low-Potential Energy at Small-Scale Energy Facilities



Artur V. DMITRENKO



Mikhail I. KOLPAKOV

*Artur V. Dmitrenko<sup>1</sup>, Mikhail I. Kolpakov<sup>2,1</sup>*

<sup>1</sup> *Russian University of Transport, Moscow, Russia.*

<sup>2</sup> *JSC Mosgirotrans, Moscow, Russia.*

✉ <sup>1</sup> *ammsv@yandex.ru.*

## ABSTRACT

Studying the issues of recovery of low-potential energy at small-scale energy facilities allowed to show the promising character of the organic Rankine cycle (ORC) technology as a technology for recovery or conversion of low-potential energy.

The most promising developments in the field of the use and recovery of waste heat are described regarding application of ORC, which is widely used in geothermal sources, hot water boilers, gas turbine plants. Due to the constantly growing diversity of working fluids, ORC can be used within a wide temperature range from 100°C to over 350°C. Also, developments are underway in the design of ORC generators to increase reliability of its individual system units, such as turbines and expanders. Based on the above factors, it can be concluded that with a deeper study of the problems of adopting ORC technologies, they can become a very promising direction in development of heat power engineering.

It has been determined that the main factor hindering the widespread adoption of the ORC technology is associated with high cost of heat exchange equipment due to increased heat exchange surfaces. It is shown that design of mini power plants and energy centres based on the use of low-potential energy requires improvement of mathematical modelling methods to reliably determine operating modes and characteristics of each of the units. Methods for modelling evaporation and condensation systems, including turbines and expanders using organic low-boiling working fluids, should be considered among the methods that are highly sought after. The methods for selecting a working fluid for ORC devices also have a significant impact on characteristics of the installation determining the range of cycle operating temperatures and pressures. The solution of the above problems can lead to a reduction in the cost of heat exchange equipment, and, consequently, to a decrease in costs for design of ORC generators.

*Keywords:* low-potential energy resources, organic Rankine cycle, mini electric plant, energy centres, mathematical modelling.

*For citation:* Dmitrenko, A. V., Kolpakov, M. I. Analysis of the Issue of Recovery of Low-Potential Energy at Small-Scale Energy Facilities. World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 2 (93), pp. 242–248. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-14>.

*The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.  
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.*

## INTRODUCTION

The need to consider current technological conditions regarding the recovery of low-potential energy at the small-scale energy facilities is determined by the demand for a more economical use of energy resources due to the passed peak of hydrocarbon extraction. In Russia it is due also to implementation of the national Energy Strategy until 2035<sup>1</sup>. At the present stage of development of industrial production, it is the adoption of energy-saving technologies that allows to increase efficiency of the use of fuel and energy resources, while the latter is among the main conditions for reducing the fuel component in the cost of production, and, accordingly, for increasing profitability of enterprises. Almost all the enterprises of stationary power engineering in transport and other industries, as well as in agriculture, have «excess» heat of the working fluid in cooling systems that ensure stable and continuous operation of production cycles [1–4].

The last decade has been marked by the widespread of installations operating according to the organic Rankine cycle (ORC) with the use of turbine generators both for producing electricity and operating according to the cogeneration [5]. The main equipment of the generator, as a rule, includes heat exchangers, piping, primary and secondary coolant pumps, a turbine, an electric generator, an automation unit with power equipment. Recently, modular power blocks have become widespread due to the ease of installation and lower transportation costs. In practice, such turbine generators have a fairly wide range of electrical power (50–1000 kW).

The modern scientific literature describes results of analytical reviewing of thermal schemes of power recovery plants, working fluids, methods of thermodynamic evaluation of the efficiency of heat conversion processes [1–13]. In Russia, the first systemic studies were carried out by M. I. Dunaevsky, and then M. M. Grishunin, A. P. Sevastyanov, L. I. Seleznev, E. D. Fedorovich were engaged in development of technological schemes and cycles [14; 15].

<sup>1</sup> Energy Strategy of the Russian Federation for the period until 2035 [in Russian]. Resolution of the Government of the Russian Federation dated June 9, 2020, No. 1523-r. [Electronic resource]: <https://minenergo.gov.ru/node/1026>. Last accessed 09.01.2021.

The *objective* of the article is to consider the current state of the issue on recovery of low-potential energy resources to improve the energy efficiency of small-scale energy facilities and to identify the main problems facing such energy centres.

## MAIN RESULTS

Over the past 10 years, much attention has been paid globally to design and development of low-power energy-efficient electrical installations based on closed steam turbine cycles in low-boiling working fluids (LBWF). An energy source of heat is low-potential if its temperature does not exceed 230–300°C (500–570 K). Fundamentally, LBWF determine the type of thermodynamic cycle, the composition of the equipment and technical and economic indicators of power plants. The broadest group includes pure (s opposed to blends) LBWF: hydrocarbons (butane, propane, pentane), freons (R11, R12, R114, R123, R245fa), ammonia, toluene, diphenyl, silicone oil, etc. They are used in power plants, implementing ORC, the essence of the application of which is recovery of secondary energy resources (SER), having a temperature of 80–350°C (waste gases, cooling water and other SER of technological processes) [16].

ORC is mainly used in:

- thermal power plants;
- geothermal power plants;
- landfills for disposal of biological waste;
- industrial enterprises that have waste heat in their production cycle;
- gas turbines, internal combustion engines, etc.

The range of application of working fluids depends on the criteria applied to them: energy properties, low ozone depletion potential, operational safety.

ORC-based power plants have the following advantages:

- lower capital costs for a turbine in comparison with a steam-water analogue;
- there is no need for a water treatment system;
- simple start-stop procedure;
- long service life of turbine equipment (up to 30 years [1]).

Considering these advantages, the use of closed steam turbine cycles in low-boiling working fluids is very promising at the facilities that dispose waste heat.



## Use of ORC at Geothermal Sources

A rather interesting example of the use of ORC is its use at geothermal sources. Warm geothermal waters act as a source of heat for ORC at the geothermal power plant. Geothermal waters are pumped from the bowels of the earth to the evaporator, where they give off heat to the LBWF. The world's first geothermal power plant (GeoTPP) using LBWF, or, as it is also called, the binary GeoTPP, was created in the USSR in Kamchatka (Paratunskaya GeoTPP) in 1967. Geothermal waters with a temperature of 81°C served as the heat source. The working agent was R12 freon. The plant generated power of 680 kW. At the same time, practical implementation of binary GeoTPP (USA, Mexico, Argentina, Iceland, Italy, Austria, Germany, Portugal, Israel, Thailand, China, Taiwan, New Zealand, Philippines, Japan) is becoming more active all over the world, with the defining trend to create small, fully automated, modular installations that do not require constant maintenance. ORMAT (Israel) is the leader in their production (up to 1000 installed power modules using pentane with a capacity of 40 kW to 3,5 MW) [9].

## Application of ORC with a Hot Water Boiler

The adoption of the ORC technology at the hot-water boiler house makes it possible to create cogeneration: simultaneous generation of heat and electricity. Depending on the consumer, the mini TPP can switch between generation modes both to generate electricity either to supply heat by changing the flow rate of the coolant towards the evaporator of ORC generator or the heating network [12].

## Implementation of ORC Technologies in the Circuit of Combined-Cycle Gas Turbine Plants

When using ORC with gas turbine units (GTU) and depending on temperature and volume of exhaust gases, there are two methods of designing ORC superstructure [13]:

- ORC superstructure for combined-cycle gas turbine plant by connecting ORC to heat extraction of the steam turbine;
- ORC superstructure for GTU via waste heat recovery boiler.

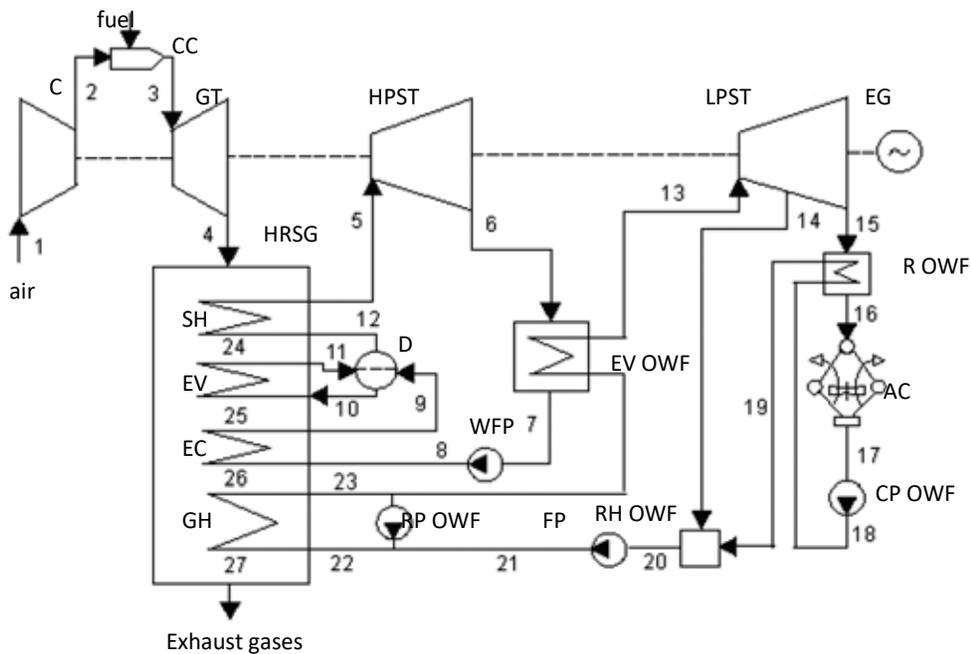
These methods make it possible to generate additional energy from exhaust gases.

Several scientific institutions in Russia have got significant research experience in the study of ORC processes, namely, of working fluids for steam turbine cycles, building thermal circuits and calculating its constituent elements (turbines and heat exchange equipment of various types) [3].

The study [16] performed the analysis and substantiation of the solution of the problem of energy saving on the basis of implementation of closed steam turbine cycles in low-boiling working fluids for industrial facilities with the use of SER. A study was carried out on selection of low-boiling working fluids used in ORC circuits. Calculations have been carried out to assess possible obtained electrical power during the implementation of LBWF turbines using waste gases of a water boiler unit with a capacity of 100 Gcal/h. It is shown that with the maximum use of heat of exhaust gases, electric power of the LBWF installation can reach ~2900 kW. To determine the most effective way of recovery of exhaust gases, a search was made for a rational thermal scheme, considering the characteristics of the existing technological cycle. In [9], based on available operating characteristics maps of the boiler unit, computational studies were carried out to determine possible electric power depending on the operating mode. Calculations have shown that the use of heat of exhaust gases without additional combustion of fuel limits the maximum temperatures of LBWF and does not allow reaching the maximum power of the power plant of ORC circuit through a small heat drop generated by the turbine. A greater amount of heat can be achieved only by increasing consumption of a low-boiling working fluid, which is not always optimal. An increase in flow rate of the working fluid entails an increase in the mass and size characteristics of heat exchange, auxiliary and turbine equipment.

At the present stage of development of closed-cycle steam turbines with low-boiling working medium, it is advisable to choose an option that will cover own needs of a heat-generating installation for electric energy at the level of 5–10 % without additional fuel combustion.

When determining feasibility of adopting the ORC cycle, it is necessary to consider that each individual case requires assessment of the



Pic. 1. Cycle diagram of combined-cycle gas turbine plant [7]: C – compressor, CC – combustion chamber, GT – gas turbine, HRSG – heat recovery steam generator, ST – steam turbine, HPST – high pressure steam turbine, LPST – low pressure steam turbine, SH – superheater, EV – evaporator, D – drum, EC – economizer, GH OWF – gas heater for organic working fluid, EV OWF – evaporator of organic working fluid, WFP – water feed pump, R OWF – recuperator of organic working fluid, AC – air condenser, CP OWF – condensate pump for organic working fluid, EG – electric generator, RP OWF – recirculation pump for organic working fluid, FP OWF – feed pump for organic working fluid, RH OWF – regenerative heater for organic working fluid.

amount and parameters of low-grade heat, as well as a complete feasibility study.

The development and implementation of installations are carried out by well-known companies from the USA, Japan, Belgium, Israel, Italy, Russia and other countries [12; 13; 17; 18].

Currently, the developed installations are intended to use low-potential SER with a temperature of 100–120°C, R142b as a working coolant and to have the efficiency of 0,08–0,10. There is a need to determine the coolant that provides optimal efficiency of the Rankine cycle for each temperature of SER sources. Therefore, for a certain specific source of SER, a thermal scheme of the installation is developed with its proper characteristic parameters and a working coolant. With a decrease in the temperature of the SER source, the cost and complexity of the equipment increases (up to 1500–2000 \$1 per kW of power) [10].

SER sources with a temperature of 150–170°C need recovery by power plants with a isobutane (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) or a mixture (isobutane/isopentane) working coolants. Thermal circuits with *n*-pentane and hexane

are being developed for recovery of SER with higher temperatures (200–250°C).

Organic heat transfer media have not been studied enough for recovery of SER with temperatures above 300–350°C. Therefore, thermal schemes of installations with water vapour and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) were developed.

From the above description of the ways of adoption of ORC installations, it can be concluded that this branch of electrical and heat engineering is sufficiently developed to create industrial designs. Therefore, ORC plants are increasingly being used in energy centres. The main world leaders who have mastered this industry are now ORMAT, Electrathern, Turboden, which have a wide range of capacities, structural solutions, as well as solutions regarding modular blocks that simplify installation and operation of ORC units.

However, despite apparent maturity of approaches to the problem of designing ORC generators, high capital costs due to suboptimal weight and size characteristics of the heat exchange equipment remain limiting factors for widespread introduction of these





Fig. 2. Semi-hermetic twin-screw HSE.85 expander [19].

installations. This negative factor might be overcome by compilation of such mathematical models that most reliably describe the processes in the systems of evaporation, condensation, and gear boxes.

The work [7] inspires interest from the point of view of analysis since it considers a three-stage steam gas plant and proposes a scheme for deep recovery of exhaust gas heat through the introduction of the ORC technology. The scheme is implemented as follows: the topping cycle is expressed by the Brighton cycle, the middle one is the Rankine cycle using water vapour, and the bottoming one is ORC. The schematic diagram of combined-cycle gas turbine plant is shown in Fig. 1 [7].

In the presented combined-cycle gas turbine plant, temperature in front of the high-pressure steam turbine is about  $1527^{\circ}\text{C}$  (1800 K), temperature of exhaust gases of the topping cycle is about  $477^{\circ}\text{C}$  (750 K), the medium steam-water cycle operates in the temperature range of  $527^{\circ}\text{C}$  (800 K) in front of the medium-pressure turbine and  $77^{\circ}\text{C}$  (350 K) in the condenser. The condensation temperature in ORC can be below  $0^{\circ}\text{C}$  (273 K) due to the use of air condensers in the northern regions of the country, where for about 8 months a year the ambient temperature is below  $0^{\circ}\text{C}$ .

The medium steam-water cycle can be replaced by the organic Rankine cycle with a lower condensation temperature of the working fluid than the water has, thereby lowering the condensation temperature limit for a deeper heat recovery in the middle cycle and an increase in efficiency throughout the plant.

The mathematical model proposed in [7], despite a very versatile approach to the method of deep recovery of low-grade heat, is expressed by a mathematical model of the first level, that is, linear equations, with a large number of assumptions and approximations, which may affect reliability of the processes described therein.

#### Other Applications of OCR Technology

The use of ORC technology is not limited only to stationary power devices. One of the possible options for modernisation of existing piston engines used in sea and railway transport to increase their efficiency is the use of ORC units integrated into the engine operation. The ORC system can recycle either high-grade (exhaust gases) or low-grade (cooling water) heat, or a combination of both, providing an increase in fuel efficiency of up to 12 % [19]. The engine radiator can be replaced, which reduces the capital cost of ORC generator by 30 % of its total cost, with a payback period of

less than five years for diesel engines. So, ElectraTherm company in 2020 presented a commercial model of a semi-hermetic expander operating on 1,1,1,3,3-pentafluoropropane, shown in Pic. 2.

The expanders are easier to operate than freon turbines: they work more efficiently at low rotation speeds, they do not need an oil pump, there are no stuffing box seals, it is possible to work under wet running conditions (when the working fluid partially enters the expander in a liquid state) [20].

However, a factor hindering modernisation is weight and size characteristics of non-technological heat exchangers, the calculations of which are carried out, often according to existing simplified engineering techniques with a high margin for the heat exchange surface due to complexity of describing real processes, which leads to an increase in weight and size characteristics of heat exchangers. By constructing various mathematical models, the [21] considered the process of condensation of the working fluid.

It was proposed to pass working fluid through a steel pipeline embedded in the ground to condensate it. The mathematical modelling used tools of engineering calculation methods and ANSYS CFX software package. Using various modelling approaches, when considering this issue, it was proposed to determine the optimal length and diameter of the pipeline. The study found that the divergence of the final length of the pipeline with the same degree of steam dryness (0,00) was more than 30 m. According to the engineering method of calculation, the length was about 107 m, while the length obtained in ANSYS CFX software package was 70 m. The study did not consider the thermal contact of the pipe with the ground, the polytropic nature of the real process, the change in thermophysical properties of the coolant due to hydraulic losses.

As it is known, it is also possible to reduce dimensions of the heat exchanger by forcing heat transfer. The existing methods of intensifying heat transfer are carried out by increasing the turbulence of the flow by means of ribbing, creating hemispherical protrusions along the length of the channel wall, making screw inserts and with other methods. These solutions have found wide application in design [4; 6].

A less studied method for increasing thermal conductivity of the working fluid is associated with the addition of insignificant impurities (less than a fraction of a percent) of nanosuspensions in the form of metal oxides, which increases thermal conductivity up to 60 % [11]. This solution, together with the use of an expander, due to its great simplicity in operation, can contribute to an increase in compactness of the ORC installation.

Despite the fact that the idea of heat recovery at the expense of ORC was proposed a long time ago, adoption of this technology requires solving problems of design optimisation and calculation of all units included in the scheme for recovery of low-potential energy [1–4; 6–8; 16–20].

Research continues to improve the methods for calculating the units of evaporation and condensation of the working fluid of ORC, as well as turbines and expanders [1–4; 6–8; 16–20].

## CONCLUSIONS

The analysis performed allows us to conclude that the main factor hindering widespread adoption of ORC technology is high cost of heat exchange equipment due to increased heat exchange surfaces. In this regard, design of such mini electric plants and power centres requires improvement of mathematical modelling methods to reliably determine operating modes and characteristics of each of the units. These popular methods include the methodology for calculating evaporative and condensing systems, as well as turbines and expanders using organic low-boiling working fluids. The solution of the above problems can lead to a reduction in the cost of heat exchange equipment, and, consequently, to a decrease in the costs of designing ORC generators.

## REFERENCES

1. Dmitrenko, A. V., Gaitrov, M. Yu. Modernization of Heat Supply System of Railway Stations. *World of Transport and Transportation*, 2017, Vol. 15, Iss. 3 (70), pp. 94–103. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1216/1492>. Last accessed 09.01.2021.
2. Dmitrenko, A. V., Kolosova, M. A. Modernization of energy complexes of railway stations and the possibility of using low-grade heat based on the organic Rankine cycle [*Modernizatsiya energeticheskikh kompleksov zheleznodorozhnykh stantsii i vozmozhnosti ispolzovaniya nizkopotentsialnoi teploty na osnove organicheskogo tsikla Renkina*]. *Nauka i tekhnika transporta*, 2017, Iss. 3, pp. 39–45. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30607270&>. Last accessed 09.01.2021.



3. Dmitrenko, A. V., Kolosova, M. A. Features of Calculating the Characteristics of Energy Complexes Using Low-Grade Energy. *World of Transport and Transportation*, Vol. 18, 2020, Iss. 6 (91), pp. 108–117. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-6-108-117>.
4. Dmitrenko, A. V., Kolosova, M. A. The possibility of using low-potential energy based on the organic Rankine cycle and determination of hydraulic characteristics of industrial units based on the theory of stochastic equations and equivalence of measures. *JP Journal of Heat and Mass Transfer*, 2020, Vol. 21, Iss. 1, pp. 125–132. DOI: [10.17654/HM021010125](https://doi.org/10.17654/HM021010125).
5. Karabarin, D. I., Mikhailenko, S. A. Features of design of units of the organic Rankine cycle [Osobennosti proektirovaniya ustanovok organicheskogo tsikla Renkina]. *Journal of Siberian Federal University. Technics and technology*, 2019, Iss. 6, pp. 733–745. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-proektirovaniya-ustanovok-organicheskogo-tsikla-renkina/pdf>. Last accessed 09.01.2021.
6. Dmitrenko, A. V., Kolosova, M. A. Determination of hydraulic characteristics of industrial units based on the stochastic theory of hydrodynamics [Opredelenie gidravlicheskiy kharakteristik promyshlennykh agregatov na osnove stokhasticheskoi teorii gidrodinamiki]. 12<sup>th</sup> All-Russian Congress on Fundamental Problems of Theoretical and Applied Mechanics. Ufa, Collection of works, August 20–24, 2019, Vol. 2, pp. 342–343. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41394385>. Last accessed 09.01.2021.
7. Galashov, N. N., Tsubulsky, S. A. Parametric analysis of the scheme of a combined-cycle steam gas unit with a combination of three cycles to improve efficiency when working in northern gas producing regions [Parametricheskyy analiz skhemy parogazovoi ustanovki s kombinatsiei trekh tsiklov dlya povysheniya KPD pri rabote v severnykh gazodobyvayushchikh rayonakh]. *Bulletin of Tomsk Polytechnic University. Engineering of georesources*, 2019, Iss. 5, pp. 44–55. [Electronic resource]: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/53444>. Last accessed 09.01.2021.
8. Gequn, Shu; Lina, Liu; Hua, Tian; Haiqiao, Wei; Xiaofei, Xu. Performance comparison and working fluid analysis of subcritical and transcritical dual-loop organic Rankine cycle (DORC) used in engine waste heat recovery. *Energy Conversion and Management*, October 2013, Vol. 74, pp. 35–43. DOI: [10.1016/j.enconman.2013.04.037](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.04.037).
9. Engine. Enhanced Geothermal Innovative Network for Europe. Workshop 5. Electricity generation from Enhanced Geothermal Systems. 14–16 September 2006. Strasbourg, France. Workshop abstracts. [Electronic resource]: [http://engine.brgm.fr/web-offlines/conference-Electricity\\_generation\\_from\\_Enhanced\\_Geothermal\\_Systems\\_-\\_Strasbourg,\\_France,\\_Workshop5/resource-9-2-ENGINE\\_BOA\\_WS5\\_Strasbourg\\_14-16092006.pdf](http://engine.brgm.fr/web-offlines/conference-Electricity_generation_from_Enhanced_Geothermal_Systems_-_Strasbourg,_France,_Workshop5/resource-9-2-ENGINE_BOA_WS5_Strasbourg_14-16092006.pdf). Last accessed 09.01.2021.
10. Gimelli, A., Luongo, A., Muccillo, M. Efficiency and cost optimization of a regenerative Organic Rankine Cycle power plant through the multi-objective approach. *Applied Thermal Engineering*, 2017, Vol. 114, pp. 601–610. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.12.009>.
11. Masoudeh, A. Heat transfer mechanisms in water-based nanofluids. Doctoral Dissertation. University of Louisville, 2015. [Electronic resource]: <https://ir.library.louisville.edu/etd/2311/>. Last accessed 09.01.2021.
12. Kler, A. M., Zharkov, P. V., Epishkin, N. O. Parametric optimization of supercritical power plants using gradient methods. *Energy*, 2019, Vol. 189, P. 116230. DOI: [10.1016/j.energy.2019.116230](https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116230).
13. Lorenz, M. Biomasse – KWK mit einem Dampf-Schraubenmotor. Köhler & Ziegler Anlagentechnik GmbH, 2006. [Electronic resource]: <https://docplayer.org/23822543-Biomasse-kwk-mit-einem-dampf-schraubenmotor.html/>. Last accessed 09.01.2021.
14. Dunaevsky, N. I. Technical and economic foundations of heating systems [Tekhniko-ekonomicheskie osnovy teplofikatsii]. Moscow–Leningrad, Gosenergoizdat publ., 1952, 256 p.
15. Grishutin, M. M., Sevastyanov, A. P., Seleznev, L. I., Fedorovich, E. D. Steam-turbine units with organic working fluids [Paroturbinnie ustanovki s organicheskimi rabochimi telami]. Leningrad, Mashinostroenie publ., 1988, 219 p.
16. Claire, A. M., Marinchenko, A. Yu., Potanina, Yu. M., Zharkov, P. V. Optimisation studies of power-generating plants on woody biomass, implementing the organic Rankine cycle [Optimizatsionnye issledovaniya energoekonomicheskikh ustanovok na drevesnoi biomasse, realizuyushchikh organicheskii tsikl Renkina]. *Izvestiya RAN. Energy*, 2019, Iss. 6, pp. 110–120. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41549138>. Last accessed 09.01.2021. DOI: [10.31857/S0002331019060062](https://doi.org/10.31857/S0002331019060062).
17. Öhman, H. Implementation and evaluation of a low temperature waste heat recovery power cycle using NH<sub>3</sub> in an Organic Rankine Cycle. *Energy*, 2012, Vol. 2, pp. 74–80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.02.074>.
18. Schuster, A., Karellas, S., Kakaras, E., Spliethoff, H. Energetic and economic investigation of Organic Rankine Cycle applications. *Applied Thermal Engineering*, 2008, Vol. 29, pp. 1809–1817. [Electronic resource]: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00540531/document>. Last accessed 09.01.2021.
19. Improving the efficiency of piston engines using the technology of the organic Rankine cycle [Povyschenie effektivnosti porshnevnykh dvigatelei s ispolzovaniem tekhnologii organicheskogo tsikla Renkina]. [Electronic resource]: [http://bitzer.ru/povishenie\\_effektivnosti\\_porshnevnykh\\_dvigateli\\_s\\_ispolzovaniem\\_tekhnologii\\_organicheskogo\\_cikla\\_renkina](http://bitzer.ru/povishenie_effektivnosti_porshnevnykh_dvigateli_s_ispolzovaniem_tekhnologii_organicheskogo_cikla_renkina). Last accessed 09.01.2021.
20. Generation of «pure» electricity from excess heat. Organic Rankine cycle with expander BITZER HSE.85 [Generatsiya «chistoi» elektroenergii iz izbytochnogo tepla. Organicheskii tsikl Renkina s detanderom BITZER HSE.85]. [Electronic resource]: <http://www.aerom.ru/unitORC>. Last accessed 09.01.2021.
21. Kishalov, A. E., Zinnatullin, A. A. Mathematical modelling of condensation of a working fluid in the system of heat transfer to a cold source of a low-capacity power plant [Matematicheskoe modelirovanie kondensatsii rabochego tela v sisteme otdachi tepla kholodnomu istochniku energoustanovki maloi moshchnosti]. *Bulletin of Irkutsk State Technical University*, 2019, Iss. 5 (148), pp. 934–949. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskoe-modelirovanie-kondensatsii-rabochego-tela-v-sisteme-otdachi-tepla-holodnomu-istochniku-energoustanovki-maloy/pdf>. Last accessed 09.01.2021. ●

Information about the authors:

**Dmitrenko, Artur V.**, D.Sc. (Eng), Professor at the Department of Railway Heat Power Engineering of Russian University of Transport, Moscow, Russia, [ammsv@yandex.ru](mailto:ammsv@yandex.ru).

**Kolpakov, Mikhail I.**, Engineer of Mosgioprotrans JSC, Ph.D. student at the Department of Railway Heat Power Engineering of Russian University of Transport, Moscow, Russia, [fdilolit@mail.ru](mailto:fdilolit@mail.ru).

Article received 25.01.2021, approved 23.04.2021, accepted 26.04.2021.

# T



**LABOUR  
RATE** **250**

*Organisation design and analytical methods as applied to managers.*



## HRM, EDUCATION & TRAINING



**INFRASTRUCTURE  
MAINTENANCE** **258**

*Staffing plan and cybernetics.*



**EXPRESS  
INFORMATION** **264**

*ICAO to partner on new runway safety training initiative.*



# Labour Rate Setting for Transport Company's Managers Based on the Principles of Organisation Design



Vladimir N. NIKITIN



Mikhail Yu. KALASHNIKOV



Olesya S. LITVINOVA

*Vladimir N. Nikitin<sup>1</sup>, Mikhail Yu. Kalashnikov<sup>2</sup>, Olesya S. Litvinova<sup>3</sup>*

<sup>1,3</sup> JSC Russian Railways, Moscow, Russia.

<sup>2</sup> Centre for Labour Management and Design of Economic Standards, a branch of JSC Russian Railways, Moscow, Russia.

✉ <sup>3</sup> [litvinovaos@center.rzd.ru](mailto:litvinovaos@center.rzd.ru).

## ABSTRACT

Analysis and labour rate setting regarding management activities is an important tool in the modern economy, used to improve the corporate efficiency by optimising existing management processes, reducing bureaucracy, and eliminating redundant processes, and, consequently, administrative elements that do not create value, and are an obstacle to normal functioning of the management system. The application of analytical methods to the work of managers is a relevant and powerful tool for increasing productivity and efficiency of corporate management.

The article describes the results of a study of tools for analysis and regulation of management activities implemented in the Russian Railways holding company based on the principles of organisation design.

The subject of the study is management activity as an object of application of modern methods of analysis and labour rates. The objective of the study is to show the possibility and feasibility of using modern methods of analysis and regulation of labour on the

example of a large transport company. The purposes of the study, the results of which are presented in this article, comprise identification of prerequisites for adoption of methods of analysis and regulation of management activities; assessment of possibilities of using the tools of functional analysis of organisation's entities and divisions to increase efficiency of management activities; description of technologies for labour rate setting for management activities using the example of the Russian Railways holding company.

The study is based on the use of methods of process analytics, functional analysis, labour rate setting, and organisation design.

The main result of the study is development of methodological approaches to analysis and standardisation of managerial work in a transport company. These approaches will make it possible to reasonably develop labour standards and rates for managers, staffing plan, and adopt modern management practices in the Russian Railways holding company.

**Keywords:** organisation design, labour rate setting for managers, process, function, labour rate, method of labour rate setting, transport, railways.

**For citations:** Nikitin, V. N., Kalashnikov, M. Yu., Litvinova, O. S. Labour Rate Setting for Transport Company's Managers based on the Principles of Organisation Design. *World of Transport and Transportation*, 2021, Vol. 19, Iss. 2 (93), pp. 250–257. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-15>.

**The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.  
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.**

## INTRODUCTION

Company's managers tend to be sceptical about the very ability to analyse and standardise their work. The main argument is that, in contrast to simple technological processes, in which all operations in the chain of the production cycle and their sequence are obvious and can be measured, and the labour results in a material, tangible product (service), the work of a manager is intellectual and analytical activity that requires creative, non-standard thinking, which depends on complexity and urgency of the tasks that arise with an indefinite frequency. This approach was widely quoted in different sources, namely in the textbooks intended for training future managers [1–4].

However, as both domestic and foreign practices show, the problem of analysis and standardisation of labour costs for managerial employees: administrative employees, specialists, managers is quite solvable [5; 6].

Today, development of IT and telecommunications, the use of modern technologies for operating big data, artificial intelligence, electronic accounting, business intelligence and office work, technical means of recording and recognising individual operations, as well as various methods and platforms for modelling and simulating business processes, including management processes, offers us ample opportunities for analysis of labour costs and the cost of management personnel. Probably, soon the world will reach such a level of digitisation of processes, when it will be possible to find out the labour costs of any person for any period of time by requesting this information in the global database online.

The *objective* of the study is to show the possibility and feasibility of using modern methods of analysis and regulation of labour on the example of a large transport company.

The tasks of the study, the results of which are presented in this article, are as follow:

- Identification of prerequisites for adoption of methods of analysis and regulation of management activities in an organisation.

- Assessment of possibilities of using the tools of functional analysis of organisation's entities and divisions to further increase efficiency of management activities.

- Description of technologies for labour rate setting for management activities using the example of the Russian Railways holding company.

The study is based on the *methods* of process analytics, functional analysis, labour rate setting, and organisation design.

## RESULTS

### Russian Railways Holding Company's Experience

The authors of the article carried out a study within one of the largest transport companies in the world, which is JSC Russian Railways, the backbone company of the Russian Railways holding company. A multi-level, multi-profiled, sophisticatedly structured company employs more than 55 thousand managers at various corporate levels. This provides extensive empirical material for the study of the problem of standardisation of management activities.

Currently, the holding company has launched a comprehensive work on implementation of organisation design and process management. The Regulation on Organisation Design in the Russian Railways Holding Company put into effect in 2020 contains the basic rules and requirements for design of organisational and functional models of the company's divisions and entities and for management of organisational change<sup>1</sup>.

In conformity with the principles of its provisions, comprehensive application of organisation design tools, such as the analysis of management processes and the analysis of the organisational and functional model of the company constitutes the foundation for measuring and optimising labour costs of employees, including administrative and managerial personnel [7–9].

Analysis and standardisation of management activities is the target of the company. It will be possible to solve it through development of a process model of the holding company, decomposed into an event chain of standardised operations, interconnected with the organisational and functional model based on a single information platform. Today, at the stage of formation of this model, analysis, and measurement of labour costs of management activities is carried out pointwise [10; 11]. First, this work is carried out in relation to problem areas of activity to implement organisational

<sup>1</sup> Regulations on Organisation Design in the Russian Railways Holding Company, approved by the order of JSC Russian Railways dated July 26, 2019 No. 1606r [Polozhenie ob organizatsionnom dizaine v kholdinge RZD, utverzhdeno rasporyazheniem OAO RZD ot 26.07.2019 № 1606r].



**Table 1**

Organisational unit name	Task	Function	Product (result of function performance)	Consumer (who needs the result of function performance?)
<i>Service of economics and finance</i> (example)	Wording of the task should briefly describe the result that the activity of the structural unit is aimed at	A set of homogeneous specialised work tasks (actions, operations) performed by a structural unit to solve the tasks assigned to it	The most specifically described result of performing a function that has value for the consumer	An external or internal consumer of the result of performing a function (another organisational unit or official, an individual, etc.)

target projects to improve the organisational and functional structure and management system, as well as when creating new organisation's entities.

Functional analysis or analysis of business processes is carried out after preliminary diagnostics of the management system, when the following statements are true with respect to the work of business units [12]:

1. Decision-making is long, or decisions are not taken at all.
2. The function is fulfilled, but it does not create value for the external or internal client.
3. There is responsibility for performance of the function, but the authority is not sufficient to perform it properly.
4. Responsibility for performance of the function is blurred between several organisational units.
5. Responsibilities between managers (departments) are not distributed.
6. An organisational unit (employee) performs work that is not fixed in any organisational document.
7. There is a redundant workflow.
8. The workload of personnel of different organisational units is unevenly distributed. In some cases, there is a regular presence at work outside of working hours, in other cases, there is a chronic underload.

Sources of information for carrying out functional analysis include regulations on divisions, orders regarding distribution of

responsibilities between managers, job descriptions, analysis of products (services), business intelligence, office systems, corporate performance indicators, as well as the results of a survey of the employees.

Many different analytical forms are used to visualise the analysis.

An example of visualisation of a functional analysis of an organisational unit, which makes it possible to identify discrepancy between tasks and functions, «empty» functions that do not create value for the company, is shown in Table 1.

**Using RACI matrix**

For functional analysis, RACI matrix is also widely used, which makes it possible, through the roles and responsibilities of organisational units (Responsible, Accountable, Consulted, Informed), to visually see redundancy, duplication of functions, imbalance in distribution of powers and responsibilities between participants in performance of these functions, as well as possible uneven workload between organisational units [13–17].

Vertical analysis of RACI matrix allows determining responsibilities and powers of each organisational unit, objectively assessing the level of workload, for example:

1. If many roles for a unit are marked with R (responsible) that «overload» of an organisational unit is possible (Table 2).

**Table 2**

Function (F)	Organisational unit (OU)					
	OU1	OU2	OU3	OU4	OU5	...
F1	I	I	A	R	–	–
F2	C	R	R	–	A	I
F3	A	R	C	I	C	R
F4	–	R	C	R	I	A
F5	C	R	–	–	C	I
F6	I	R/A	C	R	I	C
F7	I	–	C	R/A	–	C
...						

Table 3

Function (F)	Organisational units (OU)					
	OU1	OU2	OU3	OU4	OE5	...
F1	C	I	R	R	A	C
F2	I	–	A	C	A	I
F3	R	C	C	I	A	R
F4	R/I	C	A	R/C	I	R/I
F5	R	R	A	I	C	R
F6	–	A	R	–	R/C	–
F7	A	–	R	R	–	R/A
...						

Table 4

Function (F)	Organisational units (OU)					
	OU1	OU2	OU3	OU4	OU5	...
F1	I	I	–	R	C	R/C
F2	C	–	A	C	–	I
F3	–	C	C	A	R/C	–
F4	C	C	A	C	I	R/I
F5	C	C	R	–	I	A
F6	–	I	C	I	R/A	C
F7	I	–	C	I	R	–
...						

Table 5

Function (F)	Organisational units (OU)					
	OU1	OU2	OU3	OU4	OU5	...
F1	A	C	R	–	C	C
F2	I	C	C	C	A	I
F3	I	R	C	–	R	R
F4	C	R	R	R	I	A
F5	R	C	C	A	R	R
F6	C	C	A	–	I	I
F7	I	A	–	I	C	R
...						

2. If many roles for a unit are marked with A (accountable) it is recommended to distribute responsibility more evenly (Table 3).

3. There are no roles R and A then there is inappropriateness of existence of this organisational unit within performance of the considered functions (Table 4).

4. If there are no empty cells, then it is possible that all organisational units are overloaded (Table 5).

Horizontal analysis of RACI matrix reflects quality of organisation of operations, for example:

1. If there are many R (responsible) cells in a row, a duplication of functions is possible (Table 6).

2. If there are many A (accountable) cells in a row, there is a «diffusion» of responsibility (Table 7).

3. If there are many C (consulted) cells in a row, then unnecessary approvals significantly increase execution time of the function (Table 8).

4. If there are no I (informed) cells in a row, then there is an inexpediency of performing this function (there is no consumer of the result of performing the function) (Table 9).



**Table 6**

Function (F)	Organisational units (OU)					
	OU1	OU2	OU3	OU4	OU5	...
F1	R	R	R	R	R	R
F2	C	R	A	–	A	I
F3	A	C	C	I	C	R
F4	A	–	C	R	I	A
F5	C	I	I	R	R	A
F6	C	A	R	–	I	C
F7	C	R	–	A	R	I
...						

**Table 7**

Function (F)	Organisational units (OU)					
	OU1	OU2	OU3	OU4	OU5	...
F1	R	I	R	R	A	C
F2	C	A	A	A	A	A
F3	–	C	R/A	I	A	R
F4	A	–	C	R	I	–
F5	C	I	I	R	R	A
F6	C	–	R	–	I	R/A
F7	C	R	–	C/I	R	C/I
...						

**Table 8**

Function (F)	Organizational units (OU)					
	OU1	OU2	OU3	OU4	OU5	...
F1	R	I	C	R	R/C/A	C
F2	C	R	A	–	C	I
F3	A	K	C	I	I	R
F4	R	–	C	R	I	A
F5	C	C/I	C	C	C	C
F6	C	A	R	–	I	C
F7	C	R	–	A	R	I
...						

**Table 9**

Function (F)	Organizational units (OU)					
	OU1	OU2	OU3	OU4	OU5	...
F1	R	–	R	C	A	C
F2	C	R	A	–	C	I
F3	A	C	C	I	I	R
F4	–	–	C	C	I	R/C
F5	C	C/I	–	R	R	A
F6	R	A	R	–	I	C
F7	C/I	R	–	A	R	I
...						



RACI matrix is a versatile model. It is used for functional analysis or analysis of processes at any level.

#### **Other Methods and Tools for Managerial Labour Rate Setting**

Since administrative and management personnel work mainly with information and documents, a workflow matrix is used as an auxiliary tool for functional analysis. It is formed in any form and must contain information about the name of the organisational unit, the functions performed, the list of documents generated (orders, orders, regulations, reports, etc.) as a result of performance of these functions, information about those involved in approval, consumers and customers of each specific document, a method of transferring information. The workflow matrix makes it possible to identify such manifestations of bureaucracy as formation of unclaimed documents, unnecessary reports, excessive corporate procedures for approving documents, an irrational document flow system between organisational units, and, therefore, to reveal the facts of performing by administrative and managerial personnel of operations that do not create value for the company.

Functional analysis is convenient in that it allows quickly and pointwise identifying deficiencies in organisation design of individual organisational units of the company. However,

it does not provide a full-fledged vision of how management functions are distributed and interconnected in the product creation chain, how they are performed, how their implementation affects creation of this product [18; 19].

For the purposes of analysis and standardisation of labour costs, the company practices a complex application of process and functional analysis, including managerial ones, using ARIS software. This allows identifying «empty» management processes (either separate «empty» functions in the process), duplicating functions, redundant communications in cross-functional interaction (meetings, approvals, etc.), control procedures that do not affect key indicators of the final product, and therefore, revealing excessive labour costs of administrative and managerial personnel.

The sources for construction and analysis of models of management processes are current local documents of the company (standards, regulations, regulations for implementation of processes, as well as regulations for cross-functional interaction between business units of the company, etc.).

This work is carried out on an ongoing basis both by the company's divisions – owners of processes, and by specialised divisions: Centre for Labour Management and Design of Economic Standards and Centres for Improving Personnel Labour Efficiency which are part of regional centres of corporate governance.



Based on the results of the process (functional) analysis for the identified redundant functions or communications, labour costs of managers and specialists are estimated regarding the perform work that does not create value.

To study data on unproductive costs of working time, as well as to determine labour costs for the entire process (function) as a whole, they use a complex data collection by the method of questionnaires, interviewing employees, collecting statistical data over a long period, and requesting expert opinions. To confirm expert assessments, control measurements are carried out to determine the coefficient of confidence in experts.

To standardise (determine the optimal number) of specialists and employees of administrative and managerial personnel, «as it should be» process models (functional models) are designed without considering functions that do not create value. Then the models of processes (sub-processes, functions) are differentiated, which can be standardised. These are the processes that can be decomposed into simple operations, and their execution time can be measured.

To standardise labour costs of a particular organisational unit, it is necessary to have a complete database of models of all processes in which it participates.

The following requirements are imposed on the models of processes for the possibility of their use as a tool in regulation of labour of employees [20–22]:

- All the participants in the process have been identified up to the level of a specific employee.
- Cyclicity and variability of the process is known.
- Statistically significant indicators of operations were selected and, if necessary, differentiated by complexity. For an end-to-end business process, a meter should be used that is single for all participants in the process.
- The loss of working time, which does not depend on the participants in the process, as well as the amount of auxiliary work are determined.

This method is most effective for standardising labour costs of specialists and employees when they perform the functions of typical (standard) processes (for example, planning operating costs, analysing wages, developing business intelligence results, etc.).

Identification of labour costs for implementation of design and rule-making

activities is also carried out in an expert way, based on data on the share of working time spent on performance of certain functions related to development of regulatory documents or work as part of project teams.

Taking into account the peculiarities of the structure of the work of managers, in order to standardise their number, a technology is being developed for determining differentiated standards for the number of managers and management units through finding, considering analysis of influencing factors, the normative limit values of interrelated key indicators of the organisational and functional model: controllability standards, the number of direct subordinates, the ratio of the number of managers and subordinates in an organisational unit.

## CONCLUSIONS

The main results of the study include tools for analysis and standardisation of management activities adapted for the companies of the Russian Railways holding company. The prerequisites for introduction of these tools, «triggers» of the work of business units, revealing problem areas of management activities were identified. Forms of visual analysis and interpretation of management information are proposed, allowing systematising and normalising management functions.

Based on the factor rate setting methodology described in the article, methodological recommendations for assessing the balance of working hours are currently being developed for the company's divisions, considering the application of the process approach. This document reflects the main stages of determining labour costs of white-collar employees, as well as ways of solving problems that arise when using the method, and examples of step-by-step research of intellectual occupations.

This will allow the company's divisions to receive the most reliable results on labour costs in the shortest time and to independently develop labour standards.

## REFERENCES

1. Bychin, V. B., Shubenkova, E. V., Malinin, S. V. Organisation and regulation of labour: Textbook [*Organizatsiya i normirovanie truda: Uchebnik*]. Moscow, Publishing house Infra-M, 2019, 248 p.
2. Bychin, V. B., Shubenkova, E. V., Malinin, S. V. Regulation of labour: Textbook [*Normirovanie truda: Uchebnik*]. Moscow, Publishing house Infra-M, 2017, 348 p.
3. Voronkova, O. Y., Yankovskaya, V., Kovaleva, I., Epishkin, I., Iusupova, I., Berdova, Y. Sustainable

territorial development based on the effective use of resource potential. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 2019, Vol. 7, Iss. 1, pp. 662–673. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41793700>. DOI: [https://doi.org/10.9770/jesi.2019.7.1\(47\)](https://doi.org/10.9770/jesi.2019.7.1(47)). Last accessed 16.03.2021.

4. Macheret, D. A., Epishkin, I. A. Mutual Influence of Institutional and Transport Factors of Economic Development: Retrospective Analysis. *Journal of institutional studies*, 2017, Vol. 9, Iss. 4, pp. 80–100. DOI: <https://dx.doi.org/10.17835/2076-6297.2017.9.4.080-100>.

5. Aleksashina, T. V., Ananchenkova, P. I., Belkin, M. V. [et al]. Modern problems of labor economics and ways to solve them [*Sovremennye problemy ekonomiki truda i puti ikh resheniya*]. Moscow-Berlin, LLC Directmedia Publishing, 2019, 491 p.

6. Kenis, P., Raab, J. Back to the Future: Using Organization Design Theory for Effective Organizational Networks. *Perspectives on Public Management and Governance*, June 2020, Vol. 3, Iss. 2, pp. 109–123. DOI: <https://doi.org/10.1093/ppmgov/gvaa005>.

7. Nikitin, V. N., Blagodatsky, P. V., Gradoboev, V. V., Litvinova, O. S. The role of organizational design in ensuring the economic security of a company [*Rol' organizatsionnogo dizaina v obespechenii ekonomicheskoi bezopasnosti kompanii*]. *Transport contribution to national economic security: Proceedings of IV International scientific and practical conference*, Moscow, April 11, 2019. Ed. by R. A. Kozhevnikov, Yu. I. Sokolov, Z. P. Mezokh. Moscow, Russian University of Transport, 2019, pp. 81–83. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41881203>. Last accessed 16.03.2021.

8. Nikitin, V. N., Blagodatsky, P. V., Kryuchkova, A. S. The system of indicators of the organizational-functional model as one of the key tools of organizational design of the company [*Sistema indikatorov organizatsionno-funktionalnoi modeli kak odin iz klyuchevykh instrumentov organizatsionnogo dizaina kompanii*]. *ETAP: economic theory, analysis, practice*, 2020, Iss. 1, pp. 136–146. DOI: <https://doi.org/10.24411/2071-6435-2020-10008>.

9. Blagodatskaya, A. A., Blagodatsky, P. V. Development of an organizational and functional model of a company in the process of planning its activities [*Razrabotka organizatsionno-funktionalnoi modeli kompanii v protsesse planirovaniya ee deyatelnosti*]. *Economics and Entrepreneurship*, 2020, Iss. 11(124), pp. 1164–1167. DOI: <https://doi.org/10.34925/EIP.2020.124.11.229>.

10. Nikitin, V. N., Gradoboev, V. V., Blagodatsky, P. V. The role of key indicators of the company's organizational structure in ensuring national economic security [*Rol' klyuchevykh indikatorov organizatsionnoi struktury kompanii v obespechenii natsionalnoi ekonomicheskoi bezopasnosti*]. *Transport contribution to national economic security: Proceedings of III International scientific and practical conference*, Moscow, April 12, 2018. Ed. by R. A. Kozhevnikov, Yu. I. Sokolov, Z. P. Mezokh. Moscow, Russian University of Transport, 2018, pp. 30–33. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37052705>. Last accessed 16.03.2021.

11. Nikitin, V. N., Blagodatsky, P. V., Elistratova, D. A. Functional-cost analysis as a tool for improving the enterprise management system [*Funktionalno-stoimostnoi analiz kak instrument sovershenstvovaniya sistemy upravleniya predpriyatiem*]. *Ekonomika i zheleznykh dorog*, 2020, Iss. 3, pp. 60–70. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42556260>. Last accessed 16.03.2021.

12. Zhuravlev, P. V., Epishkin, I. A., Chernukhina, G. N., Varlamova, V. V., Voronkova, O. Yu. Development of human capital in the system of economic categories of work. *European Research Studies Journal*, 2018, Vol. 21, Special Iss. 3, pp. 107–117. DOI: <https://doi.org/10.35808/ersj/1365>.

13. Cabanillas, C., Resinas, M., Ruiz-Cortés, A. A template-based approach for responsibility management in executable business processes. *Enterprise Information Systems*, 2017, Vol. 12, Iss. 5, pp. 550–586. DOI: <https://doi.org/10.1080/17517575.2017.1390166>.

14. Woo-yeon, Lee; Seung-hoon, Lee; Chengquan, Jin; Chang-taek, Hyun. Development of the RACI Model for Processes of the Closure Phase in Construction Programs. *Sustainable Construction Project and Program Management*, 2021, Vol. 13, Iss. 4, pp. 1806. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13041806>.

15. Ghoshal, S. Bad management theories are destroying good management practices. *Academy of Management Learning and Education*, 2005, Vol. 4 (1), pp. 75–91. DOI: <https://doi.org/10.5465/AMLE.2005.16132558>.

16. Kofman, A., Yaeli, A., Klinger, T., Tarr, P. Roles, Rights, and Responsibilities: Better Governance Through Decision Rights Automation. *Proceedings of the 2009 ICSE Workshop on Software Development Governance, SDG, 2009*, pp. 9–14. DOI: <https://doi.org/10.1109/SDG.2009.5071330>.

17. Cabanillas, C., Resinas, M., Ruiz-Cortés, A. Mixing RASCI Matrices and BPMN Together for Responsibility Management, Conference: VII Jornadas en Ciencia e Ingeniería de Servicios (JCIS'11), 2011. DOI: <https://doi.org/10.13140/2.1.4769.6960>.

18. Puranam, P. Correction to: Human–AI collaborative decision-making as an organization design problem. *Journal of Organization Design*, 2021, Vol. 10. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41469-021-00095-2>.

19. Lupova-Henry, E., Blili, S., Dal Zotto, C. Designing organised clusters as social actors: a meta-organisational approach. *Journal of Organization Design*, 2021, Vol. 10, pp. 35–54. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41469-021-00092-5>.

20. Mosca, L., Gianecchini, M., Campagnolo, D. Organizational Life Cycle Models: A Design Perspective. *Journal of Organization Design*, 2021, Vol. 10, pp. 3–18. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41469-021-00090-7>.

21. Anjos, F., Reagens, R. Networks in the balance: an agent-based model of optimal exploitation. *Journal of Organization Design*, 2020, Vol. 9, Article number 20. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41469-020-00084-x>.

22. Prahalad, C. K. Managing discontinuities: The emerging challenges. *Research-technology management*, 1998, Vol. 41, Iss. 3, pp. 14–22. DOI: <https://doi.org/10.1080/08956308.1998.11671205>. ●

#### Information about the authors:

**Nikitin, Vladimir N.**, Ph.D. (Economics), Head of the Department for Labour Management, Remuneration and Motivation of JSC Russian Railways, Moscow, Russia, [nikitinvn@center.rzd.ru](mailto:nikitinvn@center.rzd.ru).

**Kalashnikov, Mikhail Yu.**, Director of the Centre for Labour Management and Design of Economic Standards, a branch of JSC Russian Railways, Moscow, Russia, [kalashnikovmu@center.rzd.ru](mailto:kalashnikovmu@center.rzd.ru).

**Litvinova, Olesya S.**, Deputy Head of the Unit for Branches Activity of the Organisational and Manning Direction of the Department for Labour Management, Remuneration and Motivation of JSC Russian Railways, Moscow, Russia, [litvinoaos@center.rzd.ru](mailto:litvinoaos@center.rzd.ru).

Article received 16.02.2021, approved 23.04.2021, accepted 29.04.2021.





# Application of Digitalisation in Staffing Planning for Railway Infrastructure Maintenance



Nikolay I. KOVALENKO



Vitaly A. BUCHKIN



Yuri A. BYKOV



Elena N. GRIN

*Nikolay I. Kovalenko<sup>1</sup>, Vitaly A. Buchkin<sup>2</sup>, Yuri A. Bykov<sup>3</sup>, Elena N. Grin<sup>4</sup>*

<sup>1,2,3,4</sup> *Russian University of Transport, Moscow, Russia*

✉ <sup>1</sup> [kni50@mail.ru](mailto:kni50@mail.ru).

## ABSTRACT

Existing and suggested approaches to development of staffing plans regarding infrastructure maintenance are analysed from the point of view of ensuring interests of a railway infrastructure company, using example of JSC Russian Railways.

The existing methodology of planning workforce involved in maintenance of the railway infrastructure is based on the use of average values of parameters resulted from monitoring of the state of infrastructure structures, roadbed and track devices conducted monthly, as well as during autumn and spring continuous inspections and checks of the track. The received values of work to be performed only implicitly reflect the required number of workers, effective involvement in operation, and efficiency of each worker.

The modern trend towards digitalisation and cybernation of all processes, when organising maintenance of the track infrastructure,

provides for maximum social adaptation of production processes to requests of owners, tasks of organisers and interests of performers. Staff planning based only on the volume of work to be performed does not allow digitalisation and social cybernation of an individual performer.

The syntagmatic component of such an algorithm is the monthly total worked time, which is determined by the actual engagement of each performer. The paradigmatic component of such models should be the same daily number of performers. The stage of preliminary assessment of application of the proposed algorithm for digitalisation and social cybernation of workforce planning supposed an increase in labour productivity, approximately by 20–25 %, an increase in quality of work and a more effective assessment of activities of each performer.

**Keywords:** railway, infrastructure monitoring, maintenance of railway infrastructure, digitalisation and cybernation of infrastructure maintenance, social adaptation of production processes, pattern, syntagmatic model.

*For citation:* Kovalenko, N. I., Buchkin, V. A., Bykov, Yu. A., Grin, E. N. Application of Digitalisation in Staffing Planning for Railway Infrastructure Maintenance. *World of Transport and Transportation*, 2021, Vol. 19, Iss. 2 (93), pp. 258–263. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-16>.

**The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.**  
**Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.**

## INTRODUCTION

The existing system of railway infrastructure maintenance is based on monitoring its condition and is carried out in the form of commission inspections, as well as by the use of assessment results by special technical diagnostic tools and equipment in accordance with the standards governing maintenance of tracks and infrastructure facilities<sup>1</sup> [1–5].

In JSC Russian Railways, the methodology of workforce planning regarding maintenance of the railway infrastructure is based on the use of average values of parameters of the infrastructure condition based on the results of monthly, as well as autumn and spring, continuous commission inspections and inspections of the track, infrastructure facilities, roadbed, and track devices<sup>2</sup>.

The works performed by the teams of linear and operational sections for the coming month are planned by the road master together with foremen responsible for current maintenance of the track, roadbed and structures, considering the results of infrastructure monitoring. The developed schedules are approved by the head of the track division in the form of PU-74 schedule<sup>3</sup>. Development of the current PU-74 schedules considers the work performed during the previous month. When summarising the results of the work performed, the previous and completed current PU-74 schedules are considered.

Technical substantiated standards («TNK»<sup>4</sup> or «TNV»<sup>5</sup>), as well as other regulatory documents approved by the Central (CDI) or regional (DI) infrastructure directorates, branches of JSC Russian Railways, are the basic normative documents for calculating the standardised scope of work, the standardised

number of employees and workers, the standardised duration of works.

The volumes of work obtained in this way can only implicitly reflect the number of workforce, involvement in operations, and efficiency of each employee.

## MATERIALS AND METHODS

By the existing methodology<sup>3</sup>, the planned tasks for performance of work are calculated according to the dependence (1):

$$N_{\text{worked.hours}} = \frac{V_{\text{works}} \times H_{\text{TNK}} \times K_t}{K_{\text{measure}}}, \quad (1)$$

where  $V_{\text{works}}$  is amount of work that is assumed based on the results of assessing the state of infrastructure elements by means of diagnostics (based on monitoring described above or on current control);

$N_{\text{worked.hours}}$  normalised time for work performance;

$H_{\text{TNK}}$  is standard time to complete a unit of work (as stipulated in TNK or TNV);

$K_t$  – coefficient of the temperature zone;

$K_{\text{measure}}$  – a unit of measurement for this work.

The production rate ( $N_{\text{prod}}$ ) per work shift (8,2 hours) is determined by the formula (2):

$$N_{\text{prod}} = \frac{8,2}{N_{\text{TNK}} \times K_t} \times K_{\text{measure}}, \quad (2)$$

where  $N_{\text{TNK}}$  is time rate from TNK;

$N_{\text{prod}}$  – production rate;

$K_{\text{measure}}$  – measurement units.

Time for travelling to the work site, for trains traffic and for the time used by signalmen to install necessary signs are determined according to actual data.

The volume of work performed in fact must coincide with the specified amount of work (for a working day, week, month).

The hours that were spent for work may be less than normalised time. Normalised hours must correspond to the work assignment.

The production rates per 1 hour and per 1 person are determined by dividing the measure rate established for this type of work by the time rate, and per shift – by multiplying the result by the duration of the shift.

At present, the trend in production activities and in transport towards digitalisation and cybernation of all processes [6], when organising maintenance of the track infrastructure, provides for maximum social adaptation of production processes to requests of owners, tasks of organisers and interests of performers.

<sup>1</sup> Instructions on current maintenance of the railway track, approved by the order of JSC Russian Railways No. 2288r dated November 14, 2016.

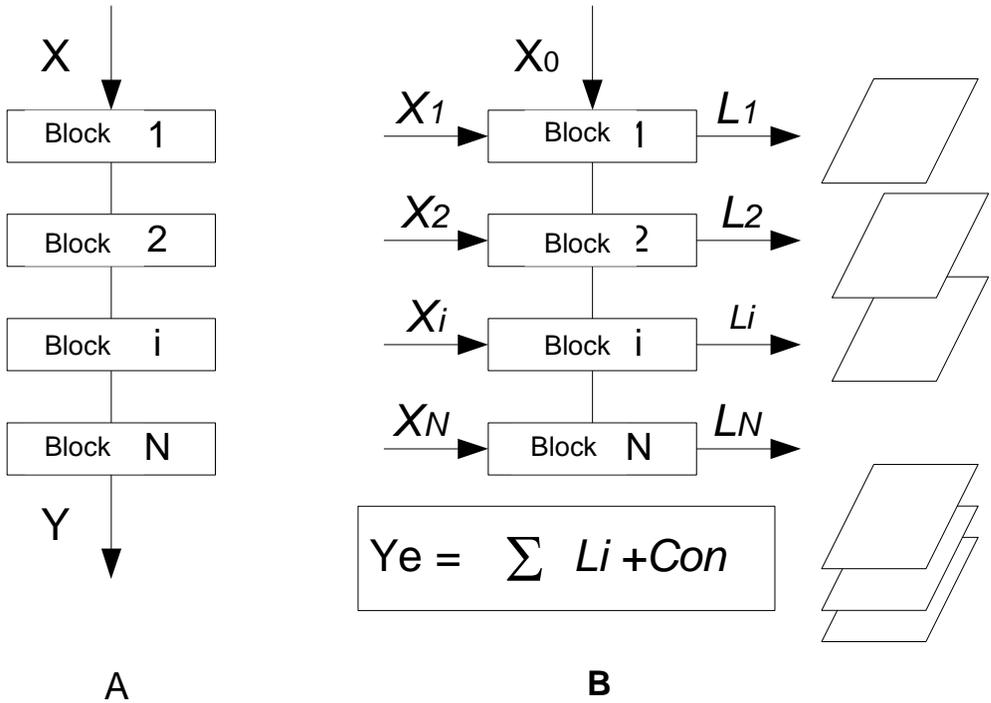
<sup>2</sup> On comprehensive assessment of the state of the track (as amended by the order of JSC Russian Railways dated January 20, 2012, No. 72r.

<sup>3</sup> Journal of accounting of work on current maintenance and assessment of the state of the track and track devices (PU-74), approved by the order of JSC Russian Railways dated May 2, 2012, No. 857 r.

<sup>4</sup> Technical substantiated standards of time for work on current track maintenance (TNK). Department of tracks and structures of JSC Russian Railways. Moscow, 2009.

<sup>5</sup> Technical substantiated standards of time for work on current maintenance of the track (TNV) (as amended by the order of JSC Russian Railways dated 05.08.2015 No. 1976r) (7<sup>th</sup> edition, revised and supplemented) in 2 parts.





Pic. 1. Two types of decision-making models [9].

The existing practices of planning the production labour process of maintenance of the track infrastructure in terms of the volume of work performed does not allow digitalisation and social cybernation of an individual performer.

Social cybernetics is aimed at creating a theoretical basis for assessing and managing systems of cooperative distribution and accounting for activities of each performer [6]. It is based on identifying the share of participation of each performer in the overall production process while detailing the technology of working operations. The paradigm that social cybernetics uses in the analysis of any system is the basic law of social cybernetics. It says that all work teams go through six levels of social contracts for their subsystems:

- aggression ⇔ survival;
- bureaucracy ⇔ following the rules and regulations;
- competition ⇔ my gain – your loss;
- solution ⇔ disclosure of individual intentions;
- complementarity [7] ⇔ cooperation in common interests,
- freedom of choice (subsidiarity [8]) ⇔ the ability to manage own actions and self-control.

The transition through those six phases of relationships provides the basis for a social and cybernetic assessment of any evolutionary system, to which work teams can be attributed. Moreover, these phases manifest themselves in different ways in cybernetics systems of different orders.

The sequential decision-making model is the simplest cybernetic model. It is built according to the principle (3):

$$(A \wedge B) \rightarrow P, \tag{3}$$

In expression (3), *A* is an event that affects object *B*, which leads to result *P*. Expression (3) is a classical expression of succession, in which the symbol  $\rightarrow$  is called implication. An expression in parentheses is called a premise or antecedent. *P* is called a consequence or apodosis. Sequential logical actions and events are well tested with logical expressions. They form a logical sequence in the form of a set of expressions (3), which set logical chains of decision-making. Sequential actions and models are well modelled using graphs. Pic. 1 gives two types of decision-making models [9].

The direct algorithm is a sequential chain of actions, which are shown in Pic. 1a. In the diagram in Pic. 1a, the output of the current stage

serves as the input to the next stage. Such models are called sequences because the inputs/outputs of the stages are consistent in them. However, interrupting a stage interrupts the entire chain. In this model, there is a single general rationality of actions.

## RESULTS

A model of the above-mentioned type can be used in development of an algorithm for scheduling the scope of work regarding maintenance of the track infrastructure to eliminate the identified malfunctions by means of diagnostics. When modelling such a process, there is no relationship to specific performers. The digitalisation and cybernation of such processes consists in recording a planned or completed event, as well as the absence of such an event, in the form of a planned or completed one, which should have been based on the results of diagnostics.

Currently, the initial materials for development of such sequential models can be compiled from monitoring data using EKASUI (single Corporate Automated Infrastructure Management System); KAS ANT (complex automated system of accounting, control of elimination of failures in the operation of technical means and analysis of their reliability); KASAT (integrated automated system for accounting, investigation and analysis of cases of technological violations) systems, commission inspections (autumn, spring, monthly, etc.), data from track measuring and defectoscope control devices and other materials evaluating the state of the infrastructure. The peculiarity of development of such a model for planning the scope of work for maintenance of infrastructure is that if any work operation is not performed in the chain of the sequential model the result is not achieved.

Pic. 1b shows a serial-parallel model of decision-making. This model focuses on producing results at every level of the decision-making stage, but with independent inputs for each stage. Such a stratified model is a collection of particular models in a general decision-making model. We can talk about syntagmatic models along horizontals (levels) and paradigmatic [10; 11] vertical models. In such models, there is one common result and a set of individual approaches.

These models include the labour force planning algorithm. The syntagmatic component of such an algorithm is the monthly total worked time, which is determined by the actual worked

time of each performer. The paradigmatic component of such models should be the same daily number of workers.

Despite the variety of models, there are general rules and principles by which models of social cybernetics are formed. When generating models, the following rules apply:

- The area of interest is fixed as an information situation ( $A_1$ ), in which management is planned to be carried out:

- In the information situation, conditions ( $A_2$ ) are fixed, determined by a set of parameters or constraints.

- For the problem areas, known heuristics ( $A_3$ ) are fixed in the form of patterns [12] or rules by which calculations can be performed.

- If a suitable model based on heuristics is not found, a new model is formed based on analytical studies ( $A_4$ ).

- For the decision to be made, the conditions ( $A_5$ ) of its correctness and admissibility are fixed.

- Criteria for evaluating the effectiveness of the solution are selected ( $A_6$ ).

- Technology is applied (B) and the result is obtained (P).

This technique has a logical form (4):  
 $(A_1 \wedge A_2 \wedge (A_3 \oplus A_4) \wedge B \rightarrow (P \wedge A_5) \rightarrow A_6$ . (4)

There are many computational models that can be classified as structural objects, for example, the conceptual model [13], which is a theoretical prerequisite for building a computational model.

Pic. 2 is a diagram of construction of a decision-making model.

## DISCUSSION OF THE RESULTS

As a strategic direction for digitalisation and social cybernation, planning of the workforce for maintenance of railway infrastructure is an addition to the existing methodology for setting planned targets for performance of work (dependence 1) by determining the number of performers to complete the task.

The basic regulation documents for calculating the standardised number of employees and the standardised duration of work are, for example, TNK<sup>4</sup> or TNV<sup>5</sup>.

The algorithm for digitalisation and social cybernation of staff planning is that after establishment of planned targets for performance of work (dependence 1), the duration of work in working hours or working days is determined, as a quotient from dividing the planned volume of work by duration of the working day.



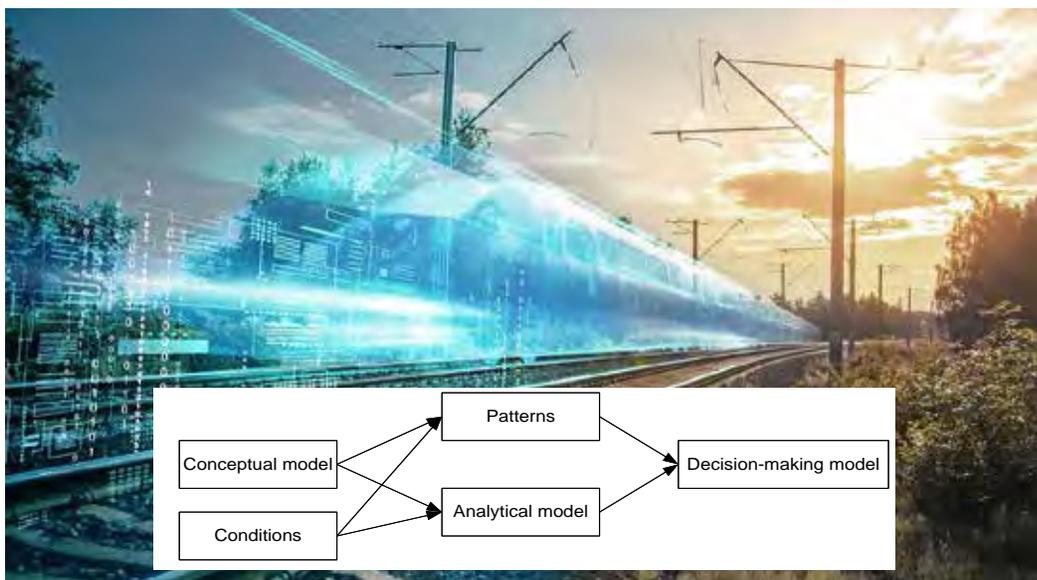


Fig. 2. Model building scheme [13].

Further, the planning process is carried out with the set number of workers, for example, according to TNK<sup>4</sup> or TNV<sup>5</sup>.

When developing the «Schedule of execution of planned works» it is necessary to adhere to the following principle. At the beginning, the most labour-intensive work with the largest number of workers is distributed per working days. In case of incomplete workload of working days until the end of the month, the performers of this work are transferred to another job the next day (the «ladder» principle).

If the next work does not require involvement of all performers, those who performed the first job are transferred to the next jobs in parts. It should be borne in mind that the following works according to their technological features may require a certain stipulated number of workers, which is indicated in TNK<sup>4</sup> or TNV<sup>5</sup> for this work.

After completing formation of distribution of workers who have performed the first work for other works until the end of the month, it is possible to start distributing the remaining unallocated works. The distribution principle remains the same.

When forming list of workers intended for individually performed works, it is possible to attract several performers to speed up the performance. The situation of supplementing or reducing the number of teams, which are indicated in TNK<sup>4</sup> or TNV<sup>5</sup> for this work, is unacceptable.

To control the correct distribution of work and performers, it is recommended to keep records of performers regarding each working day.

When carrying out the operation of distributing working days for cases of incomplete working hours, several solutions may be considered [14; 15]. For example, redistribution of part-time working hours for travelling to the job location and back, for passage of trains and other losses of a production and technological nature. In this case, it is necessary to recalculate duration of working hours for the entire period of this work. This will lead to a decrease in duration of working days and a decrease in production, which must be considered when calculating the volume of work.

Another distribution option can be redistribution of excess time in the form of additional time to each working day as a factor in increasing labour productivity. This option is possible when the part-time job received by calculation is distributed within 30–40 % of the full working day.

After distribution of works and performers in accordance with the specified volumes and duration, a statement of the actual number of performers is drawn up.

The actual number of employees is one of the indicators that is used in the accounting system for the number of performers at a particular enterprise. In addition, such a calculation will help to analyse the work of the enterprise,

identify shortcomings in the work of the team and provide opportunities for optimisation at a particular enterprise.

After drawing up a list of the actual number of performers, a list of the payroll of performers is drawn up.

The list number of performers of current maintenance of the track within the whole track division, which are based on materials of, for example TNK<sup>4</sup> or TNV<sup>5</sup>, is determined by summing up the number of performers of each work, which is provided for by technology.

## CONCLUSIONS

The research presented in the article is aimed at developing a mechanism for planning labour resources, their optimisation, rational distribution and control.

The algorithm for digitalisation and social cybernation of workforce planning allows keeping an operational record of each performer in accordance with the results of the work performed and occupation of performers according to the attendance number. Further development of the developed algorithm considers the process of automated operational accounting and control of staff planning, as well as of their performance in implementation of the assigned production tasks.

The stage of preliminary assessment of application of the proposed algorithm for digitalisation and social cybernation of staff planning supposes an increase in labour productivity, approximately by 20–25 %, an increase in quality of work and a more effective assessment of activities of each worker.

## REFERENCES

1. Milne, D., Le Pen, L., Watson, G., Thompson, D., Powrie, W., Hayward, M., Morley, S. Monitoring and repair of isolated trackbed defects on a ballasted railway. *Transportation Geotechnics*, 2018, Vol. 17 (Part A), pp. 61–68. DOI: 10.1016/j.trgeo.2018.09.002.
2. Yongxiang, Z., D' Ariano, A., Bisheng, H., Qiyuan, P. Microscopic optimization model and algorithm for integrating train timetabling and track maintenance task

scheduling. *Transportation Research Part B: Methodological*. 2019, Vol. 127, pp. 237–278. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2019.07.010>.

3. Wen, Haijun; Hou, Shiwang; Liu, Zhaohua; Liu, Yongjiang. An optimization algorithm for integrated remanufacturing production planning and scheduling system. *Chaos, Solitons & Fractals*, 2017, Vol. 105, pp. 69–76. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2017.10.012>.

4. Dewilde, T., Sels, P., Cattrysse, D., Vansteenwegen, P. Robust railway station planning: An interaction between routing, timetabling and platforming. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 2013, Vol. 3, Iss. 3, pp. 68–77. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2013.11.002>

5. Norman, T. L. Electronic Access Control (Second Edition), Elsevier, Inc., 2018, ISBN 978-0-12-805465-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2015-0-04450-1>.

6. Rosenberg, I. N., Tsvetkov, V. Ya. Social cybernetics in digitalization of transport infrastructure [*Sotsialnaya kibernetika v tsifrovizatsii transportnoi infrastruktury*]. *Nauka i tekhnologii zheleznykh dorog*, 2020, Vol. 3, Iss. 3 (15), pp. 3–14.

7. Bogoutdinov, B. B., Tsvetkov, V. Ya. Application of the complementary resource model in investment activity [*Primenenie modeli komplementarnykh resursov v investitsionnoi deyatel'nosti*]. *Bulletin of Mordovian University*, 2014, Vol. 24, Iss. 4, pp. 103–116.

8. Loginova, A. S. Evaluation of applicability of subsidiary management [*Otsenka primenimosti subsidiarnogo upravleniya*]. *Aktualnie problemy sovremennoi nauki*, 2015, Iss. 3, pp. 297–301.

9. Tsvetkov, V. Ya., Mordvinov, V. A. An approach to systematisation of algorithms [*Podkhod k sistematsatsii algoritmov*]. *Ontologiya proektirovaniya*, 2018, Vol. 7, Iss. 4 (26), pp. 388–397.

10. Elsukov, P. Yu. Paradigmatic and syntagmatic relations in dichotomous division [*Paradigmicheskie i sintagmicheskie otnosheniya v dikhotomicheskom delenii*]. *Slavic Forum*, 2019, Iss. 3 (25), pp. 19–26.

11. Katz, M., Domshlak, C. Optimal admissible composition of abstraction heuristics. *Artificial Intelligence*, August 2010, Vol. 174, Iss. 12–13, pp. 767–798. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.artint.2010.04.021>.

12. Shehennikov, A. N. Using patterns in design of algorithms [*Ispolzovanie patternov pri konstruirovani algoritmov*]. *Slavic Forum*, 2018, Iss. 1 (19), pp. 96–103.

13. Kornakov, A. N. Conceptual model of information management processes of an industrial organization [*Kontseptualnaya model protsessov informatsionnogo upravleniya promyshlennoi organizatsii*]. *Bulletin of Moscow State Regional University / Economics*, 2010, Iss. 2, pp. 95–100.

14. Kovalenko, N., Grin, E., Kovalenko, N. The determination of the repairs of railway track considering the reliability and risk level. *E3S Web of Conferences*, 2020, Vol. 157, pp. 06031. DOI: [doi.org/10.1051/e3sconf/202015706031](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015706031).

15. Kovalenko, N. I., Grin, E. N. Engineering prevents threats. *World of Transport and Transportation*, 2012, Vol. 10, Iss. 5, pp. 138–142. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/756/1105>.

### Information about the authors:

**Kovalenko, Nikolay I.**, D.Sc. (Eng), Professor at the Department of Track and Track Facilities of Russian University of Transport, Moscow, Russia, [kni50@mail.ru](mailto:kni50@mail.ru).

**Buchkin, Vitaly A.**, D.Sc. (Eng), Professor at the Department of Railway Design and Construction of Russian University of Transport, Moscow, Russia, [buchkin@mail.ru](mailto:buchkin@mail.ru).

**Bykov, Yuri A.**, D.Sc. (Eng), Professor at the Department of Railway Design and Construction of Russian University of Transport, Moscow, Russia, [ua\\_bykov@mail.ru](mailto:ua_bykov@mail.ru).

**Grin, Elena N.**, Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Track and Track Facilities of Russian University of Transport, Moscow, Russia, [miit-grin@rambler.ru](mailto:miit-grin@rambler.ru).

Article received 02.02.2021, approved 23.04.2021, accepted 05.05.2021.





## ICAO: Runway Safety Training

### EXPRESS INFORMATION

ICAO will partner with ACI, IATA and CANSO on new runway safety training initiative.

The new online course has been specifically designed for air traffic controllers and aeronautical information service staff. It will

be available for enrolment in April of this year on the ICAO Global Aviation Training website. The course complements existing courses developed in cooperation with Airports Council International (ACI) for airport operations staff, and with IATA for flight crews.

**Keywords:** ICAO, training, air safety control, runway, online course.



**W**ith the coming into effect this November of its new Global Reporting Format for Runway Surface Conditions (GRF), ICAO has agreed to partner with the International Air Transport Association (IATA) and the Civil Air Navigation Services Organisation (CANSO) on a new joint GRF training programme.

The new online course has been specifically designed for air traffic controllers and aeronautical information service staff, and will be available for enrolment in April of this year on the ICAO Global Aviation Training website. It complements existing courses developed in cooperation with Airports Council International (ACI) for airport operations staff, and with IATA for flight crews.

«Runway safety continues to remain aviation's biggest safety challenge, representing more than half of all accidents reported to ICAO for

commercial operations», emphasized ICAO Secretary General Dr. Fang Liu. «We have been collaborating in recent years on numerous initiatives to reduce runway safety related accidents and incidents worldwide, and the hard work undertaken to forge international consensus on the new GRF, in addition to this new collaborative training course supporting it, should help to deliver substantial runway safety performance improvements».

The ICAO GRF will be effective as of 4 November 2021, and establishes a new methodology for assessing and reporting runway surface conditions to improve take-off and landing performance.

The new agreement is the first of its kind between the three international organisations, and sets the stage for future collaboration on global safety enhancement initiatives. ●

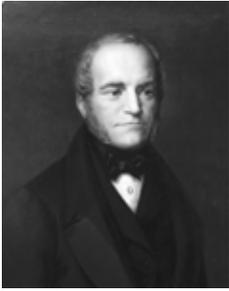
Compiled based on the ICAO news release of March 5, 2021: <https://www.icao.int/Newsroom/Pages/ICAO-to-partner-with-IATA-and-CANSO-on-new-runway-safety-training-initiative.aspx>.

**For citation:** ICAO: Runway Safety Training. *World of Transport and Transportation*, 2021, Vol. 19, Iss. 2 (93), p. 264. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-17>.

*The text of the editorial news in Russian is published in the first part of the issue.*

*Текст редакционной заметки на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.*

# T



**MOSCOW-  
ST. PETERSBURG 266**

*The railway is still the first one, currently it is at the top regarding the speed.*



## HISTORY WHEEL



**PRESS  
ARCHIVES 279**

*What impressed the readers of the Rail Business Journal most 111 years ago? The speed of giant passenger steam locomotives...*





## REVIEW ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-18>

# The First Main Line in Russia



**Dmitry Yu. Levin**

*International Association of scientists, professors and experts, Moscow, Russia.*

✉ [levindu@yandex.ru](mailto:levindu@yandex.ru).

Dmitry Yu. LEVIN

## ABSTRACT

The article is dedicated to the 170<sup>th</sup> anniversary of the first Russian railway main line St. Petersburg–Moscow. The country's railway transport, as the main type of transportation, has a rich history and remarkable patriotic, labour, scientific, and technical traditions. We must remember them. The emergence of railways in Russia, as in other countries of the world, was accompanied by many problems that needed to be solved: financing methods, types of ownership, track gauge, types of traction and signalling, traffic management and

control, competition with other modes of transport, etc. The stage of emergence of railways in Russia is very instructive. What extreme points of view were expressed, and how long did it take to start building main lines? After the society realised the need for construction of railways, it became obvious that the costs required are not affordable neither for the state, nor for creditors, nor for private entrepreneurs.

To better understand how construction of the first railway in Russia was conducted, the article offers many illustrations.

Keywords: main line, formation and construction, survey and design, construction sites, bridges, stations, signalling, steam locomotives, coaches.

*For citation:* Levin, D. Yu. The First Main Line in Russia. World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 2 (93), pp. 266–278. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-18>.

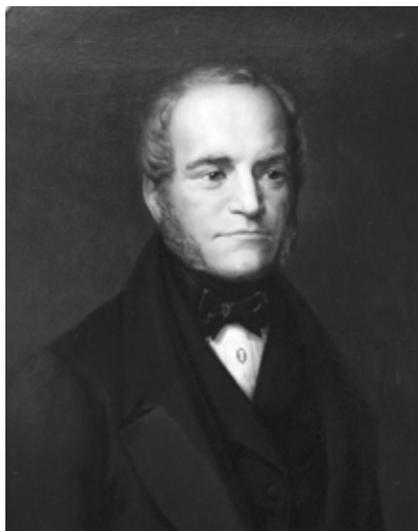
*The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.  
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.*

On July 8, 1826, the Ministry of Railways discussed for the first time a number of proposals for construction of railways in Russia and rejected them, noting that such roads are economically unprofitable, and that they are difficult to be maintained in our climate, especially in winter. And in the future, there were many opponents of railways in Russia comprising the Chief manager of transportation routes K. F. Tol, the Minister of state property Count Kiselyov, the Minister of finance E. F. Kankrin, the Minister for war Count Chernyshev, the Minister of the imperial court Prince Volkonsky, the Chairman of the State Council prince Vasilchikov, the Minister of the interior L. A. Perovsky, the head of the Commission of projects and estimates of the Department of transportation routes M. G. Destrem and a number of other government officials.

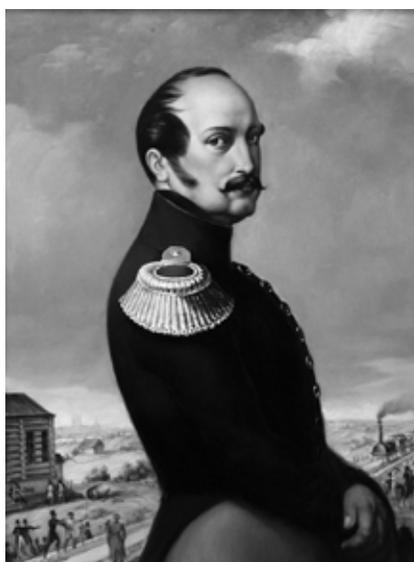
The arguments of opponents of construction of railways were expressed by Minister of finance E. F. Kankrin: *«Not only should the idea of covering Russia with a whole network of railways be considered as exceeding any real possibility, but a sole construction of a railway from St. Petersburg to Kazan should be recognised as several centuries premature. The government can draw its subjects into the greatest losses. Steam traction can in no case be allowed on railways, because due to the lack of coal in Russia, it will entail destruction of forests. For transportation of troops, railways are also unsatisfactory, since they should have a huge number of carts (cars) for this item, which are not needed at all in ordinary times. Duty-free import of cast iron and rails will entail the exit from the state of capital and, finally, alienation of land for the roadbed and various buildings will require enormous costs»*. There were especially many critics among the owners of canals and stagecoaches, who were afraid of losing their monopoly on transportation of goods and passengers.

While such discussions were going on, in England and the United States, massive construction of railways began. And yet, in Russia there were many people who believed that it was in a country with vast areas that railways were needed, since they were a reliable means of communication that allowed to regularly move large masses of goods with minimal expenditure of manpower and resources.

In August 1834, following the invitation of the Mining department, a famous Austrian engineer, professor at the Vienna Polytechnic Institute Franz



Pic. 1. Franz Anton Gerstner.



Pic. 2. Emperor Nicholas I.

Anton Gerstner came to St. Petersburg to organise construction of railways in Russia (Pic. 1). In September Gerstner left St. Petersburg via Moscow and Kazan for the Urals to get acquainted with the real conditions and possibilities of railway construction.

Upon his return to St. Petersburg, he submitted to Emperor Nicholas I (Pic. 2) a detailed note in which he outlined his views on construction of railways. He noted that *«... there is no country in the world where railways would be more profitable and even necessary than in Russia since they make it possible to shorten long distances by increasing speed of movement»*.





Pic. 3. Nicholas I discusses railway projects.

Gerstner proposed to build a road between St. Petersburg and Moscow, then to connect Moscow with the main waterway of the country – the Volga with the line Moscow–Kazan or Moscow–Nizhny Novgorod (Pic. 3). Then he intended to connect the line between St. Petersburg and Kazan with Odessa or Taganrog, pointing out that with assistance of the shipping company along the Volga and the Caspian Sea, the Asian trade of Russia would be ensured, and the competition of England would be eliminated. But for a start, he considered it expedient to build some kind of small line in order to dispel doubts about the possibility of operating the railways in winter conditions. Only then, relying on the experience gained, he did plan to start building a main line from St. Petersburg to Moscow.

Somewhat later, this proposal included only construction of St. Petersburg–Moscow line, and then it all came down to construction of an experimental St. Petersburg–Pavlovsk railway on an equity basis (Pic. 4).

On March 9, 1835, Gerstner submitted a petition *«for permission to establish a company with a capital of 3 million roubles for construction of a railway from St. Petersburg to Tsarskoe Selo, Pavlovsk and Kolpino in the form of the first experience in construction of this kind of track, to prove usefulness of the railway for the public, shareholders and the state with this construction»*.

On June 8 or 19, 1835, Emperor Nicholas I wrote a resolution with his own hand on Gerstner's note. There is no date on the resolution, but it might become the date of founding of railways in Russia. The content of the resolution is literally the following: *«I read it with great attention and was convinced, as before, in favour*

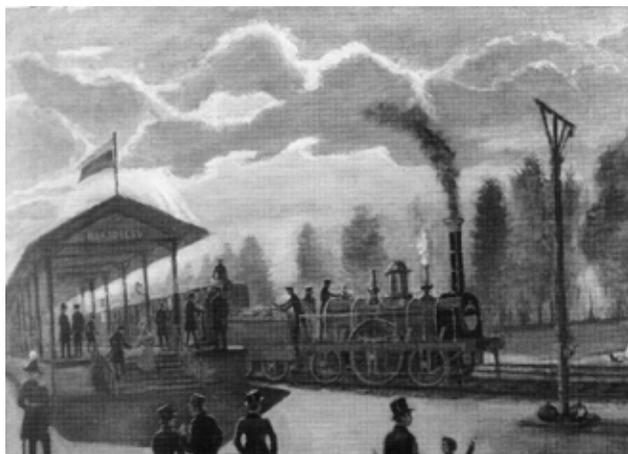
*of this cause: but I am not convinced that Gerstner would find enough capital to start such a huge enterprise. On this subject I wish written explanations from him; then, if necessary, I will call him to myself. I will allow the road to Tsarskoe Selo, if he will present plans to me»*.

Thus, despite all doubts on the part of the government officials closest to the Emperor about the expediency of railways, their fate was decided by the will and conviction of usefulness and necessity for the country by Emperor Nicholas I. The Tsarskoye Selo railway was built in 1837. The experience of the Tsarskoye Selo railway showed that in the harsh climatic conditions of Russia, railways can operate steadily and generate income for their owners.

The next issue was construction of new lines in Russia. All proposals from both domestic and foreign entrepreneurs and financiers were based on the joint-stock form of ownership. For construction of a railway between St. Petersburg and Moscow, many different proposals and applications were received, but they were all rejected.

The most solid proposal with the assistance of P. P. Melnikov and Count A. A. Bobrinsky, who was very close to the sovereign, came from German bankers Dufour and Harkart. They were famous for being the first bankers of the sprawling commercial city of Leipzig and establishing Dresden railway, one of the best in Europe in technical terms, and bringing in a good income.

The proposal was as follows (as described by P. P. Melnikov): St. Petersburg–Moscow railway is being built by the joint-stock company being formed. The calculations assumed transportation



Pic. 4. Tsarskoye Selo railway.

of 200000 passengers and 24 million poods of cargo per year.

*«From the environment of a company consisting of foreign, mainly German capitalists and based in Leipzig, the Board of Directors is formed, which is located in St. Petersburg. The Government Commission will oversee the actions of the chief director, and the government can be the closest participant in the case, leaving behind a part of the shares. The main advantage that bankers ask for is the government's guarantee for a 4 % income on shares, which guarantee will not lead to any additional payment from the treasury, if the income of the road is more than 4 %, and meanwhile, an important and useful business will be performed without a donation from the state and an unforgettable monument to the present reign will be erected».* In the future, such a guarantee of the government for the receipt by shareholders of a certain income has found widespread use.

This proposal and the justifications attached to it were received by Nicholas I, who ordered formation of a special committee to study them and develop proposals.

Throughout 1841, there was a fierce struggle between the supporters of construction of St. Petersburg–Moscow railway and its opponents. The final decision was made on January 13, 1842, at a special meeting in the presence of the Emperor.

Concluding the debate of the meeting, the Tsar said that he had come to a conclusion about the usefulness of St. Petersburg–Moscow railway in terms of its influence on industry and trade, and that the road should be arranged with government funds and remain within its hands.

At the beginning of 1842, a corresponding decree was issued. This is how the first state (state-owned) railway in Russia was born.

Since all the ministers were against the construction of St. Petersburg–Moscow railway, Nicholas I (Pic. 2) established a Special Committee to carry out this enterprise and appointed the heir to the throne, Tsarevich Alexander Nikolaevich, the future Emperor Alexander II, as chairman.

Already on January 29, 1842, the first meeting of this committee was held under the chairmanship of the heir to the crown. At this meeting, a draft Decree of Nicholas I was prepared for the Governing Senate, a Construction Commission was formed, and the Minister of finance was instructed to allocate funds necessary for construction of a railway between the capitals.

On January 30, 1842, the Construction Commission under the chairmanship of Count Benckendorff began its work; it was entrusted to carry out surveys and draw up an estimate for Colonels P. P. Melnikov (Pic. 5) and N. O. Kraft (Pic. 6). The decision of the Committee was approved on February 1, 1842, by Nicholas I.

On August 11, 1842, after the appointment of Count P. A. Kleinmichel as Chief Governor (Pic. 7), changes were made in the higher bodies in charge of the railways.

By the decree of Nicholas I to the Governing Senate of August 11, 1842, the Construction Commission was abolished, and the Department of Railways was established, whose duties included management of all railways. Under it, a temporary technical commission was formed during construction of St. Petersburg–Moscow railway.





Pic. 5. Engineer Lieutenant General P. P. Melnikov.



Pic. 6. Engineer Major General N. O. Kraft.



Pic. 7. Count P. A. Kleinmichel.



Pic. 8. Monument to Nicholas I in St. Petersburg.

When designing the railway, there were two proposals, one – to lead the road directly to Moscow, the other – with a call to Novgorod. Nicholas I (Pic. 8) imposed the following resolution: *«To arrange the road in a direct direction, because I do not find any good reason to lead it to Novgorod, which will not lose the benefits that it uses».*

The projected line was divided into two construction sections: St. Petersburg–Bologoye (Northern Directorate), headed by P. P. Melnikov, and Bologoye – Moscow (Southern Directorate), headed by N. O. Kraft (Pic. 9).

To carry out exploration work, seven special parties were formed, staffed by graduates and students at the Institute of the Corps of Railway Engineers, which were headed by N. I. Lipin (Pic. 10), I. G. Verigo, P. P. Zuev, V. I. Kirchner, A. I. Shtukenberg (Pic. 11) and others. In one of the groups a railway engineer D. I. Zhuravsky (Pic. 12) worked, who later became the country's largest scientist in the field of bridge construction.

The main field work was completed in the spring of 1843. The total length of the explored variants of the route was 6000 km, or about 10 km per 1 km of track.

There was no experience in design and construction of railways in the 1840s. Therefore, in 1842, Major of the American service J. Whistler was invited to consult on construction of the St. Petersburg–Moscow road (Pic. 13). His advice was highly professional and very helpful



*Pic. 9. Scheme of St. Petersburg–Moscow railway.*

to the builders. In 1847 he was awarded the Order of St. Anne, II degree.

P. P. Melnikov was responsible for development of technical conditions and standards for design and construction of St. Petersburg–Moscow main line. He suggested a 5 ft (1524 mm) track, which is 89 mm wider than Stephenson's. The choice of a track wider than 4 feet 8.5 inches provided a more convenient placement of the locomotive mechanism, an increase in the volume of the boiler, the weight of the cargo in cars, and better stability of rolling stock. The gauge proposed by P. P. Melnikov was adopted throughout the Russian railway network.

P. P. Melnikov invented and introduced many technical and railway terms that are still used today. For example, stations of I, II, III and IV classes, which were located on the main line, respectively, at a distance of about 160, 80, 40 and 20 km.

The issues of organising construction of railways in the 1840s presented significant difficulties due to the lack of experience in design and construction of such large lines as St. Petersburg–Moscow railway. The more respect is given to the optimal solutions found by the pioneers.

The construction of the road began in the summer of 1843. To bring the administrations as close as possible to the objects under construction, the Northern Administration was located at Chudovo station (111 versts from St. Petersburg) (Pic. 14), the Southern – first in Vyshny Volochek



*Pic. 10. N. I. Lipin.*



*Pic. 11. A. I. Shtukenberg.*



*Pic. 12. D. I. Zhuravsky.*





*Pic. 13. J. Whistler (1800–1849).*

(an important centre of the systems of channels connecting the Volga with the Neva) (Pic. 15), and then in Tver (it was supposed to tranship cargo from the Volga River) (Pic. 16).

On St. Petersburg–Moscow railway, pointless switches with double movable rails were used. They were much more stable in the horizontal plane and provided a smoother entrance to the branch compared to switches with single movable rail. However, the presence of a rupture in the track at the beginning of the turnout could lead to derailment of rolling stock going in trailing direction. Soon, switches appeared with two movable straight blades from ordinary rails, which were the prototype of modern switches.

Wooden beams were used as an under-switch base. They had required elasticity, significant strength, were simple in shape, easy to operate and manufacture.

The organisational and technological construction plan provided for:

- Selection of support bases in the zones of adjoining the route to the waterways of communication, along which the supply of materials and equipment was carried out.
- Multi-beam method of construction work, when they are carried out from one point in several directions at the same time.
- Stage-by-stage commissioning of road sections, which speeds up and reduces the cost of construction.

The acceleration of construction was facilitated by introduction of elements of mechanisation of work. For example, during development of a huge excavation between Valdai and Berezaika stations, earth-moving machines similar in design to excavators were used. When driving the piles of the bridge crossings, steam piles were used. For transportation of soil, specially designed earth-carrying cars and a track for them were used.

Difficult problems arose during construction of 19 overpasses, 69 pipes and 184 bridges, including across large rivers as the Volga, Volkhov, Tvertsa, Msta. D. I. Zhuravsky supervised the design of bridges. One of the features of bridge crossings was the significant height of supports, which made it necessary to use large spans instead of small ones to avoid the rise in construction costs. In addition, the



*Pic. 14. Railway bridge at Chudovo station.*



*Pic. 15. Vyshny Volochek.*



*Pic. 16. Tver Station.*

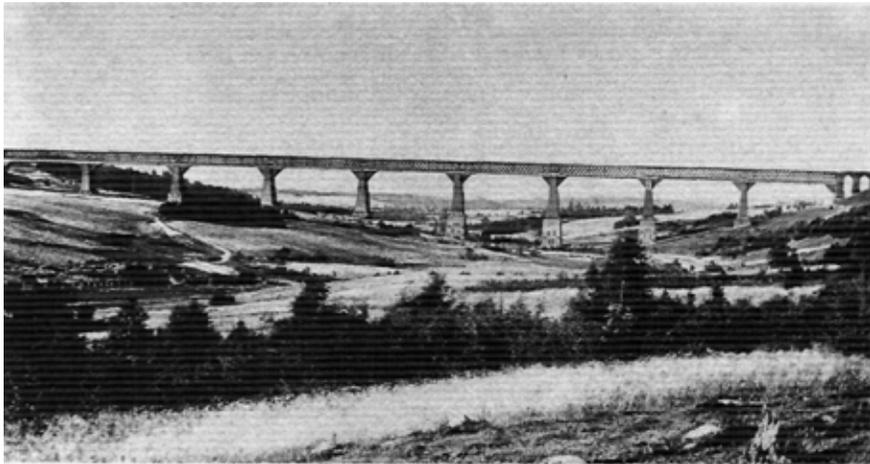
frequently placed supports at small spans impeded navigation and made it difficult for ice to pass through.

D. I. Zhuravsky refused to blindly copy large-span structures of wooden bridges known at that time. Rightly believing that the arch system at high bridges heights would require construction of massive and expensive supports, he turned his attention to lighter beam spans with wooden trusses, proposed by the American engineer W. Howe. However, there was no theory for calculating such structures, which raised serious doubts about correctness of the approach to

assigning dimensions of the sections of individual elements.

In 1845, D. I. Zhuravsky created a theory for calculating lattice trusses, giving a method for determining the forces in individual elements. In particular, he found that the cross-sections of vertical metal strands were assigned in the Howe trusses unreasonably: the strands at the supports are heavier loaded and should be more powerful. For design reasons, a constant cross-section of the truss chords was provided along the entire length, while in single-span structures, the chord cross-section could





*Pic. 17. Verebyinsky viaduct.*

be fully used only in the middle of the span. For bridges of large spans, the scientist proposed a continuous beam system that ensures the rational use of the belt material.

Based on the research, D. I. Zhuravsky gave recommendations on the calculation of the Howe trusses and developed projects for wooden bridges across all major watercourses on St. Petersburg–Moscow railway line. Five groups of span structures with lengths from 16,4 to 60,8 m were developed. The design of structures was accompanied by comprehensive studies of their work under load and the properties of the building materials used.

The span structures of all bridges had wooden multi-lattice continuous trusses formed by the superposition of several simple triangular lattices on top of each other, which significantly improved the work of compressed elements.

The Verebyinsky viaduct became a unique bridge crossing (Pic. 17). According to contemporaries, this viaduct was considered one of the best structures of this type, not only in Russia, but in Europe and America.

The Msta bridge had nine spans of 61 m each. Its supports were pyramidal wooden tower structures on a stone foundation, sheathed with iron.

A feature of the bridge over the Volkhov, which had five spans of 51 m each, was a ten-meter adjustable navigable span of the opening system. The author of the project, engineer V. I. Grave, to ensure the balance of the system at any opening angle, proposed a counterweight to the original design.

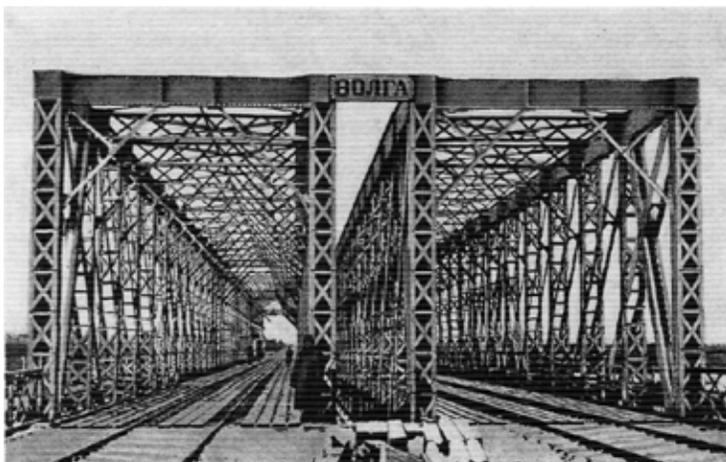
The bridges across the Volga (Pic. 18) and Tvertsa each had three spans 59,6 m long. The bridges across the Obvodny Canal and the river Slavyanka were significantly different from the

others. The stretched belts of the Howe trusses used in the span structures of these bridges were metal (iron).

The Aleksandrovsky Mechanical Plant of St. Petersburg–Moscow Railway became the firstborn of railway engineering. Passenger locomotives of 2-2-0 type produced by the plant were later designated «B». An internal eccentric steam distribution mechanism set in motion double (expansion) spools, which made it possible to reverse the machine and change the degree of filling the cylinders with steam. In a tubular boiler, a cone draft was used, which made it possible to regulate the process of fuel combustion, depending on intensity of operation of the steam engine. The pressure in the boiler increased up to 8 atm, the power of the steam locomotive – up to 130 hp. It drove trains of six cars at a speed of 40 km/h. In addition, steam locomotives of 1-2-0 and 1-2-1 types were built.

Commercial steam locomotives of 0-3-0 type produced by the Aleksandrovsky plant (Pic. 19), which received the designation «D», were similar in many design solutions to passenger locomotives. They had a power of about 140 hp and drove 22-coach trains at a speed of 15 km/h.

The first domestic freight wagons (Pic. 20) appeared on St. Petersburg–Moscow railway. They began to be built at Alexandrovsky plant in 1846. The cars were four-axle, with wooden bodies, a central hitch, without side buffers, and with a hand-operated braking device. The carrying capacity of the covered car with a container of 7,8 tons was 8,2 t. For bulk and long cargo, four-axle platforms with a tare weight of 6 tons and a carrying capacity of 10 tons were



*Pic. 18. Entrance to the railway bridge across the Volga.*

also built. Their axial load was 4 tons instead of 10 tons, for which the rail track was designed.

In 1845, Academician B. S. Jakobi (Pic. 21) received a task to set up telegraph communication along St. Petersburg–Moscow railway, which was under construction. Before the completion of this project, the German company Siemens, invited to participate in organisation of such a connection, laid a cable line, which consisted of two copper wires, insulated with gutta-percha and placed in a wooden gutter, filled with an insulating mass. The line was laid along the side of the track at the ends of the sleepers. It began to be exploited in 1852 with the use of Siemens telegraphs, and then Morse, since the latter provided more reliable communication.

However, the design of the laid cable turned out to be unreliable, therefore, in 1854, at the suggestion of B. S. Jacobi, it was decided to replace it with an overhead line, which had three steel wires with a diameter of 5 mm, suspended on poles by means of iron hooks with insulators. 16 pillars were installed per verst. In the future, overhead communication lines were also used on all railways under construction.

All projects of the buildings of St. Petersburg–Moscow railway are permeated with the ideas of the Tsar’s favourite, the architect K. A. Ton (Pic. 22). Ton designed the entire area of 644 km road as a single ensemble in the form of a gigantic square. Nikolaevsky railway station (Pic. 23) was built in 1844–1851 according to the project of Konstantin Ton, with the participation of Rudolf Zhelyazevich. The building combines the forms of the Italian Renaissance and ancient Russian motives. A novelty at the time was a solution with a metal covering over the end sections of railway

tracks and adjacent passenger platforms. If the passenger station building itself was designed by Ton in traditional forms and structures, then the landing stage had no analogues in the architecture of the past. The triangular trusses of the apron cover created a completely new image of the transport interior.

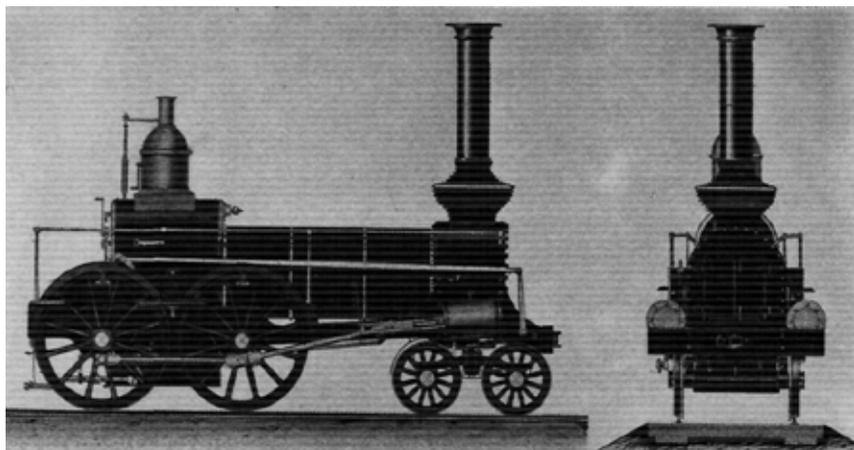
The station building is round in plan, located along the length of the entire adjacent square. Konstantin Andreevich used the motives of the town halls of Western European cities, the clock tower indicates the direction of the main entrance. The Emperor himself took an active part in the design of the new station (Znamenskaya) square.

N. I. Miklukha was appointed the first head of the passenger station and the station of St. Petersburg–Moscow railway (Pic. 24). His apartment was located in the very building of the station, in addition, the offices of employees, the railway administration, and the imperial premises were located here.

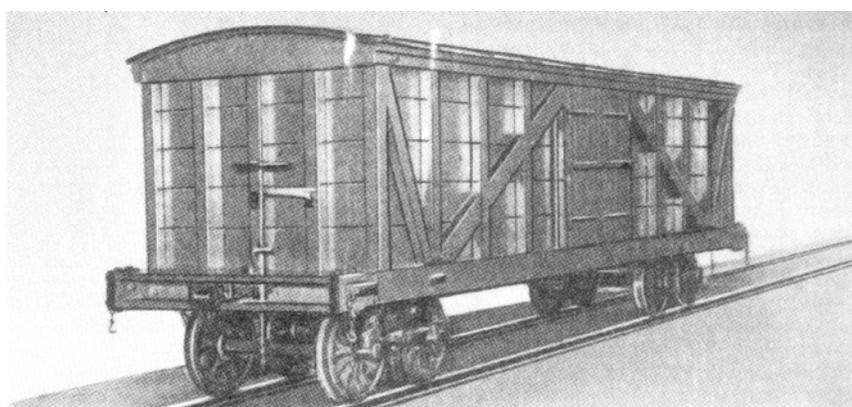
Leningradsky railway station (until 1855 – Petersburgsky, in 1855–1923 – Nikolaevsky, in 1923–1937 – Oktyabrsky) (Pic. 25) is the oldest of the nine stations in Moscow. The station building was built in 1844–1851 according to the project of Konstantin Ton by the architect Zhelyazevich. For the station, the construction commission chose the Kalanchevsky wasteland on the northeastern outskirts of Moscow.

The construction of Petersburgsky railway station in Moscow began in 1844 under the direction of the managing head of transportation routes, Peter Kleinmichel, who had disagreements with Ton. So, Kleinmichel demanded the use of brickwork with thin seams, which seemed to him





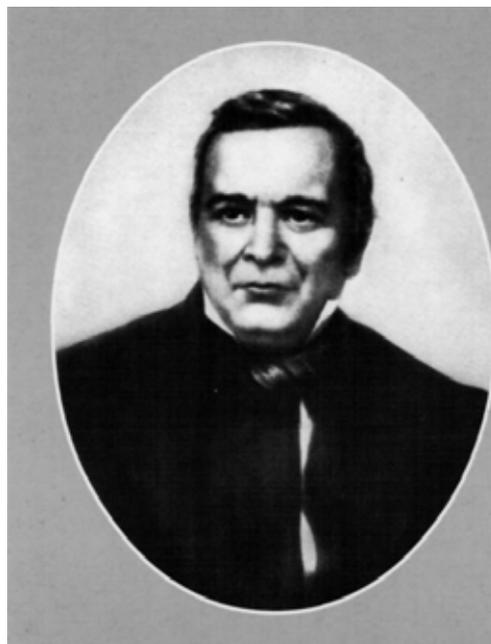
*Pic. 19. The first domestic commercial steam locomotive.*



*Pic. 20. The first covered car of St. Petersburg-Moscow railway.*



*Pic. 21. B. S. Jacobi.*



*Pic. 22. Architect K. A. Ton.*



*Pic. 23. Nikolaevsky railway station in St. Petersburg.*

more aesthetic. The architect refused to comply with this instruction, fearing a violation of the solidity of walls and the occurrence of cracks. As a result of conflicts in 1847, the work was entrusted to Rudolf Zhelyazevich, who was more flexible.

The construction was completed in 1851. The building was a stylistic pair of the station in St. Petersburg, but it was smaller in size. The central part of the building was occupied by a spacious two-story lobby. The premises of the station were decorated with oak parquet and marble Swedish stoves. The imperial halls had massive oak doors and mirrored wardrobes. The second floor of the main building of the station was allocated for the apartments of employees.

As the work progressed, the road opened section by section. In 1847, a permanent traffic was opened between St. Petersburg and Kolpino. In 1848 service traffic was carried out to Chudovo station and between Tver and Vyshny Volochk. The opening of the entire road to Moscow took place on November 1, 1851.

Once construction was completed, the initial period of its operation is also of interest. In the absence of sufficient experience in operating railway transport, it was believed that only people accustomed to a clear army order could ensure safety and regularity of movement in the best way.

Therefore, by order of the Main Directorate of Railways and Public Buildings dated September 23, 1851, No. 180, 14 separate military workers, 2 conductor and 1 telegraph companies were formed for operation of the railway. They were recruited by the military department from among the non-commissioned officers and privates of active military service.



*Pic. 24. I. N. Miklukha.*





Fig. 25. Nikolaevsky railway station in Moscow.

There were 3500 people in the military workers' companies. One of the conductor companies included steam locomotive drivers, their assistants, and firemen.

In total, during construction of St. Petersburg–Moscow main line, about 46 million cubic meters of earthworks were carried out, two large stations were built in both capitals, as well as other 34 stations, and 190 bridges. The construction of this railway cost 67 million roubles (one third of the annual budget of the Russian Empire in 1842). In the middle of 19<sup>th</sup> century, this railway was the most technically advanced and the longest (644 km) double-track railway in the world.

## REFERENCES

1. History of organisation and management of railway transport in Russia [*Istoriya organizatsii i upravleniya zheleznodorozhnym transportom Rossii*]. Ed. by A. A. Timoshin. Moscow, GOU Educational and methodological center for education in railway transport, 2009, 466 p. [Electronic resource]: <https://mirlib.ru/knigi/tehnika/489566-istoriya-organizacii-i-upravleniya-zheleznodorozhnym-transportom-rossii-1809-2009.html>. Last accessed 17.09.2019.
2. The history of railway transport in Russia [*Istoriya zheleznodorozhnogo transporta Rossii*]. Vol. 1: 1836–1917. St. Petersburg, 1994, 336 p.

3. Levin, D. Yu. Development of the Russian railway network in 19<sup>th</sup> century [*Razvitie seti zheleznykh dorog Rossii v XIX veke*]. Moscow, FGBOU Educational and methodological centre for education in railway transport, 2014, 398 p. [Electronic resource]: [https://www.studmed.ru/levin-d-yu-razvitie-seti-zheleznykh-dorog-rossii-v-xix-veke\\_b66b323a7c9.html](https://www.studmed.ru/levin-d-yu-razvitie-seti-zheleznykh-dorog-rossii-v-xix-veke_b66b323a7c9.html). Last accessed 17.09.2019.

4. Construction and operation of Nikolaevsky railway: A brief historical sketch [*Postroika i ekspluatatsiya Nikolaevskoi zheleznoi dorogi: Kratkiy istoricheskiy ocherk*]. St. Petersburg, 1901, 175 p.

5. Avdeev, O. T. IUP Album. Petersburg–Moscow (Nikolaevsky) railway [*IUP. Albom. Peterburg-Moskovskaya (Nikolaevskaya) zheleznaya doroga*]. GOU Educational and methodological centre for education in railway transport, 2005, 120 p. [Electronic resource]: <https://mirlib.ru/knigi/history/448872-peterburg-moskovskaya-nikolaevskaya-zheleznaya-doroga.html>. Last accessed 17.09.2019.

6. Russian Railways: Handbook. Moscow, Granitsa publ., 2007, 316 p.

7. Voronin, M. I. On the history of research and design of Petersburg–Moscow railway [*K istorii izyskanii i proektirovaniya Peterburg-Moskovskoi zheleznoi dorogi*]. Collection of works of LIIZHT. Moscow, 1952, Iss. 143, pp. 2–83.

8. Kamensky, A. S. On the comparative value of Petersburg–Moscow railway: Manuscript [*O sravnitelnoi tsennosti Peterburg-Moskovskoi zheleznoi dorogi: Rukopis*]. 1851, NTB PGUPS.

9. Urodkov, S. A. Petersburg–Moscow Railway: History of construction [*Peterburg-Moskovskaya zheleznaya doroga: Istoriya stroitelstva*]. Leningrad, LSU publ., 1951, 105 p.

### Information about the author:

**Levin, Dmitry Yu.**, D.Sc. (Eng). International association of scientists, professors and experts (autonomous non-profit organization), Moscow, Russia, [levindu@yandex.ru](mailto:levindu@yandex.ru).

Article received 17.09.2019, approved 16.10.2020, accepted 23.04.2021.



# The Greatest Passenger Steam Locomotive in the World



### News from the archives

The publication in Rail Business [Zheleznodorozhnoye delo] Journal of 1910 introduced the most powerful steam locomotive of the time to the readers. It was intended for passenger traffic in the United States.

**Keywords:** railway, steam locomotive, passenger traffic, history.

In No. 24 of Rail Business [«Zheleznodorozhnoye Delo»], 1909, I described the greatest commercial steam locomotives built by Baldwin’s plant in Philadelphia for Southern Pacific R. R.; now I will add that in practice they turned out to be extremely efficient and expedient, that at the present time there are already up to a dozen of them working, and that it was decided to supply them exclusively to the entire mountain division of this road.

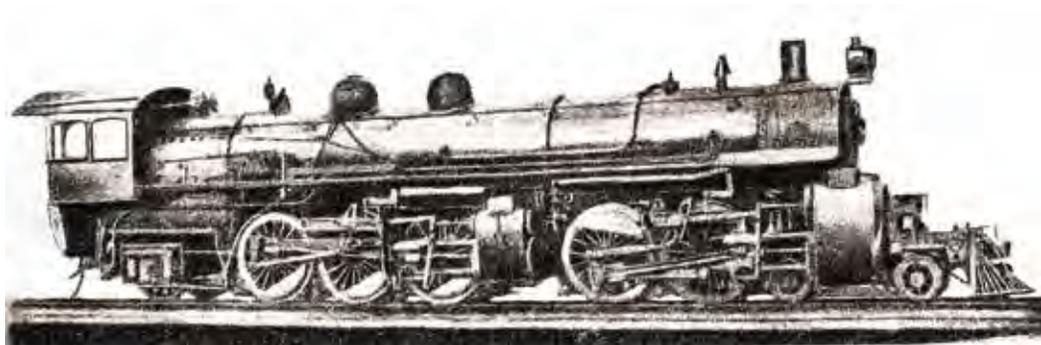
It goes without saying that mountain passes affect both freight and passenger traffic in the

same way, and this is especially noticeable in cases where different lines compete with each other during long journeys by shortening time they need. Over the past year, it is precisely this kind of competition that has resumed with great energy between a whole half-dozen transcontinental lines of the North America, operating between the Atlantic and Pacific oceans; time between New York and Chicago has been shortened from 18 to 15 hours, time between Chicago and Los Angeles or San Francisco from 72 to 60 hours, and all roads are striving to reduce travel times to three days,

*For citation:* The Greatest Passenger Steam Locomotive in the World. World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 2 (93), pp. 279–280. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-19>.

*Acknowledgements.* The editorial board expresses its gratitude to the staff of the library of Russian University of Transport for their assistance in preparing the publication.

The text of the reprinted archived article originally written in Russian is published in the first part of the issue.  
Текст архивной публикации на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.



i.e., 3250 miles or 4875 versts to be travelled in 72 hours, including all stops and connections in Chicago. Atchison, Torea & Santa Fe RR Co., which has over 10000 miles of track and its own continuous line from Chicago to Los Angeles and San Francisco, is closest as compared to all its other competitors to achieve this. Although it has built 400 miles of new track, bypassing the highest of its mountain passes in the main ridge of the Rocky Mountains in Colorado, it was still hampered by three other passes – in New Mexico, Arizona, and California, especially in this last one, through the Sierra Madre ridge. To overcome it and win 2–3 hours, this company built at the same Baldwin plant a new passenger steam locomotive-monster that has just arrived here, weighing with a tender the same three hundred tons as the aforementioned commercial steam locomotives of Southern Pacific R. R. C°. The locomotive itself weighs 376450 English pounds; the rest comes from a tender raising 12000 gallons of water and 4000 gallons of oil, so a steam locomotive can do with a heavy train 100 English miles without stopping. Locomotive and tender length is of 105 feet; traction force is of 53000 tons. It is of a composite Mallet type, with five pairs of propelling wheels 73 inches in diameter, connected in 3 and 2 pair seats, with the rear three pair seat powered by high pressure cylinders and the front two pair by low pressure cylinders. This locomotive is designed for high speed and at relatively steep climbs, with a traction force 50 % higher than the strongest passenger locomotives currently in use anywhere. Otherwise, the essence of its design is the same as that of the commercial steam locomotives I described in No. 24.

In the case of the modern American design of rolling stock, both steam locomotives and passenger and freight cars, a decisive transition

to larger and heavier types should be stated. All the main lines have completely left the wood and went over to steel. The prejudice against steel passenger cars because of the noise they supposedly produce in motion was completely dispelled by improvements in their design, and their comparative safety, even in the most severe crashes, was never in doubt. The intensification of commodity traffic, which again began with rapid leaps after a hitch in industry and trade caused by the stock exchange panic in the autumn of 1907, promises again, and very soon, to reach the limit of modern railway performance, and an increase in the load capacity of freight cars is one of the main means to raising it. Steel freight cars lift 100000 English pounds, almost double the largest wooden ones, and although they cost twice as much, they are much more durable and safer in crashes and fires.

The remarkably rapid spread of gasoline and electric motors on steam railways should also be noted. The rapid development of electric trams in all densely populated areas and between major cities – such as between Boston and New York and between Chicago and St. Louis – affected passenger traffic on steam trains so badly that they found themselves forced to establish motor traffic on all of their suburban lines. There is still a fierce struggle between numerous types of motors for these roads, but even now two or three of them have established their superiority over others and are entering general use. I hope in the near future to give the readers of «Zheleznodorozhnoe Delo» a detailed description of them, if I am able to cope with the Russian nomenclature of the issue.

**P. A. Tverskoy**  
**Los Angeles, California**  
**(Zheleznodorozhnoe delo [Rail Business],**  
**1910, No. 17–18, pp. 104–105) ●**



**A REVIEW ARTICLE 282**

*Technical diagnostics: synthesis of self-checking circuits of embedded.*



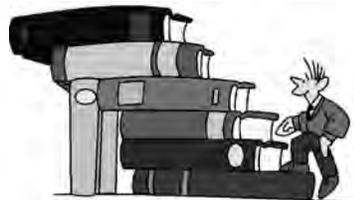
**BIBLIO-DIRECTIONS**

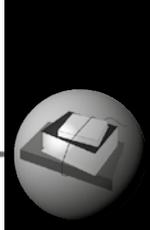
**SELECTED ABSTRACTS  
OF D.SC. AND PH.D.  
THESES SUBMITTED  
AT RUSSIAN TRANSPORT  
UNIVERSITIES 286**

- *Improvement of methods for diagnosing asynchronous traction electric motors of locomotives on the railways of the Republic of Uzbekistan.*
- *Evaluation of economic efficiency of development of transport infrastructure, considering the volume and unevenness of traffic.*
- *Development of the method of calculation of rigid airfield pavements. Application of predictive regulators to control distributed generation installations in railway power supply systems.*
- *Management of resource supply of the innovative development of a transport company.*
- *Development of methods and means of RFID-navigation for control of movement of metro trains.*

**NEW BOOKS  
ON TRANSPORT  
AND TRANSPORTATION 291**

*List of selected books recently published in Russia and other countries.*





## Review of the book «Proceedings on the Self-Checking Embedded Control Circuits Synthesis Theory Based on Binary Redundant Codes»



**Anzhela Yu. Matrosova**

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.

✉ [mau11@yandex.ru](mailto:mau11@yandex.ru).

Anzhela Yu. MATROSOVA

***Proceedings on the Self-Checking Embedded Control Circuits Synthesis Theory Based on Binary Redundant Codes. Vol. 1. Moscow, Nauka publ., 2020, 611 p. ISBN 978-5-02-040758-9.***

***Proceedings on the Self-Checking Embedded Control Circuits Synthesis Theory Based on Binary Redundant Codes. Vol. 2. Moscow, Nauka publ., 2021, 527 p. ISBN 978-5-02-040757-2.***

The first volume of the book includes papers devoted to three main areas of research in the field of synthesis of self-checking discrete systems: study of features of classical sum codes (Berger codes), modular sum codes, as well as their modifications proposed by the authors of the articles; study of features of codes for which check bits are obtained using convolutions modulo  $M = 2$  of a part of data bits (polynomial codes and classical Hamming codes); research of the Boolean Complement method for organisation of self-checking discrete systems based on redundant binary codes. Materials are provided on detailed characteristics of error detection in data bits of redundant binary codes under the condition of error-free check bits, descriptions of methods for constructing previously unknown modified sum codes and features of methods for

synthesizing self-checking discrete systems based on binary redundant codes.

The second volume of the book includes papers in the field of constructing binary sum codes weighted bits and transitions between bits occupying adjacent positions in data vectors of code words, as well as the results of studying their characteristics and methods of synthesising coding equipment. The issues of application of features of codes in organisation of self-checking discrete systems are considered. The reader will find on the pages of this volume materials on detailed characteristics of error detection in data bits of weight-based sum codes provided that the check bits are error-free, descriptions of methods for constructing previously unknown weight-based sum codes and features of methods for synthesising self-checking discrete systems based on them.

The book can be useful for developers, researchers and engineers working in the field of technical diagnostics of discrete systems and synthesis of systems with fault detection, as well as students studying computer science, computer technology and automation.

**Keywords:** automation hardware, synthesis of self-checking circuits, embedded control, binary redundant codes, self-checking discrete system.

**For citation:** Matrosova, A. Yu. Review of the book «Proceedings on the Self-Checking Embedded Control Circuits Synthesis Theory Based on Binary Redundant Codes». *World of Transport and Transportation*, 2021, Vol. 19, Iss. 2 (93), pp. 282–285. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-20>.

**The text of the review article originally written in Russian is published in the first part of the issue.  
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.**

In 2021, the Nauka Editions published a two-volume edition of «Proceedings on the self-checking embedded control circuits synthesis theory based on binary redundant codes», which included the main papers of the team of St. Petersburg scientific school on technical diagnostics under the guidance of professors Valery Vladimirovich and Vladimir Vladimirovich Sapozhnikovs, published in the period from 2009 to 2020. In our opinion, the published work deserves special attention of the scientific community due to the fact that it actually determines the main stages in the development of code methods for synthesising means of detecting errors caused by faults of various physical nature in technical systems.

First, it is necessary to remind the reader that in development and design of technical means of automation, both in industry and in transport, special attention is paid to the issues of not only ensuring correct execution of laid down algorithms, but also to protection against failure, malfunction, and their manifestations in the form of errors in calculation results. This requires the developer to lay down the properties of checkability, self-testing, self-checking, fault-tolerance, safety behaviour in case of failures and other malfunctions at the stage of creating the very prototype of the future device. It is on these properties that the reliability characteristics of the device and the nuances of its operation depend in the future. As a result, all the features of the life cycle of technical means of automation are determined even at the stage of its development, when it is possible to foresee the most rational architecture of the device, the composition, and the need for technical means of diagnostics, to assess the risks of failures and persistent failures.

In the transport industry, information and control systems for critical purposes are often used, the failure of which should not lead to a hazardous event (potentially affecting development of conditions for the occurrence of accidents and disasters or leading to them). It is for this purpose that special requirements have been developed for critical information management systems, which are somewhat similar, but somewhat different in various branches of transport. For example, in the railway sector, in development of microelectronic and microprocessor-based train control systems, the following concept is adhered to [1]: *single defects in hardware and software should not lead to*

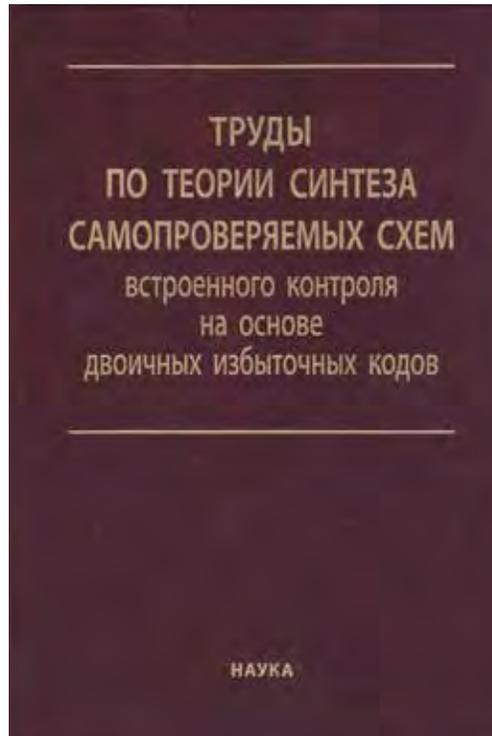
*dangerous system failures and should be detected during operating or test influences no later than the second defect arises in the system.* Hence it follows that the most important in construction of modern control systems are not only the principles of synthesis of systems with controllable structures, but also the principles of implementing diagnostic support.

Diagnostic support of technical systems allows solving problems of test and working (functional) diagnostics [2; 3]. Test diagnostics implies disconnecting an object from performing its main functions in order to apply special testing influences to its inputs. Working diagnostics is connected with the fact that working combinations are at the same time test ones for the object being diagnosed. The diagnostic procedure itself does not require disconnecting the diagnosed object from the controlled devices. In systems of critical application, both of these types of diagnostics are used on an equal footing. This, of course, requires the introduction of both hardware and software redundancy (redundancy and diversity), the use of information and time redundancy. One of the most important approaches to implementation of operational diagnostics procedures is the use of self-checking embedded control circuits (ECC). It is the issues of the synthesis of ECC for devices of automation and computer technology that the published edition is devoted to.

The book «Proceedings on the self-checking embedded control circuits synthesis theory based on binary redundant codes», presented in the form of two multi-page volumes, contains the main scientific works in the field of the theory of synthesis of ECC based on noise-immune redundant codes. The book includes four main sections. The first three form the first volume of the monograph and the fourth constitutes the second volume. A feature of the book and the research of the authors is that they consider not just ECC structures implemented on a specific element base, but the general features of the use of redundant coding for solving technical diagnostics problems. This makes the described results universal and applicable not only to the modern element base, but also to the developed one, which is important under the conditions of constant improvement of computer and information technologies [4].

The first section is devoted to the synthesis of ECC based on codes with summation of single digits and a description of their properties. The





features of classical sum codes (Berger codes) and their modifications obtained by calculating the weight of the data vector in the residue ring according to a predetermined modulus, dividing data bits into subsets with control of the weight of each of them, calculating special correction factors when constructing codes are covered. Separate materials are devoted to the application of the properties of sum codes in the synthesis of ECC.

The second section is devoted to the study of the characteristics of the well-known polynomial codes and Hamming codes in ECC. With regard to the set diagnostic tasks, the detecting abilities of these codes in data bits are considered. The main features of the class of systematic codes are shown, related to the fact that the resulting codes due to the use of modulo two convolutions in the synthesis of their encoders have non-unidirectional functions of the digits, and therefore their use in the synthesis of ECC should consider these circumstances.

The third section covers the results of the authors in the field of development of the Boolean Complement method for the synthesis of ECC. Here, all methods consider the use of constant-weight codes when organizing ECC with transformation of the last values of working functions of the objects to be diagnosed (and not

with concatenation (addition), as in the case of using separable codes). The Boolean Complement method allows synthesising completely self-checking ECC even in the case when this cannot be achieved by classical methods (including duplication with subsequent control of the outputs of the same name of various devices).

The fourth, the largest, section covers the features of the use of weight-based sum codes in the synthesis of ECC. The authors consider various methods of constructing sum codes, between the data bits of which inequality is established. It is achieved by assigning weight coefficients to the digits (or a group of digits) from a natural series of numbers. Such codes are divided by the authors into two classes – codes with summation of weight coefficients of the digits and transitions between the digits (in fact, the weight coefficients of the groups of digits). The monograph «Proceedings on the self-checking embedded control circuits synthesis theory based on binary redundant codes» describes codes with arbitrary weight coefficients, as well as codes, in the construction of which weighting of one and several digits is used, special sequences of weight coefficients are applied. Methods for synthesising ECC using the properties of weight-based sum codes are presented.

The authors show that it is possible to effectively use the properties of detecting errors of various multiplicity and types in the synthesis of ECC. Errors are classified according to the number of distortions of zero and one digits in data vectors into unidirectional and multidirectional, and the latter, in turn, into symmetrical (with the same number of distorted zero and one digits) and asymmetrical (with unequal). It is widely known that modern means of computer-aided design of automation circuits and computer technology consider only the possibility of detecting unidirectional errors by a number of codes. This is also used when choosing controllable structures and methods of error control in ECC at the device outputs. However, the authors have shown that many redundant codes have not only the ability to detect unidirectional errors, but also other types of errors, including up to a certain fixed multiplicity, which can also be applied in practice. In separate articles in the book, algorithms for the synthesis of completely self-checking ECC are given, taking into account such features of redundant codes. The established features should be taken into account in development of automated design tools for devices, which will reduce their structural (and when implemented at the software level – software) redundancy.

It should be noted that the authors are developing code methods for synthesizing ECC, described in the well-known publications of the Soviet and post-Soviet period of development of technical diagnostics [5–7], as well as in foreign publications [8–10]. At the same time, the results presented in this two-volume book are associated with a fairly deep level of research, and not superficial, as it was before, before the publication of the works of the co-authors of the book. Accordingly, the presented theory allows the designer to have a wide field of choice of the coding option when synthesizing ECC.

Unfortunately, in the post-Soviet space, there are not so many scientists who are engaged in the synthesis of completely self-verified ECC, and insufficient attention has been paid to their works.

However, the use of the results and their development allows in practice to more reasonably choose the method of implementing ECC, taking into account the specifics of the diagnostic object itself, which, ultimately, allows not only to reduce the complexity indicators of technical implementation of diagnostic tools, but also to improve economic indicators.

The book covers the results without reference to specific devices and systems, without highlighting any industries and transport, and will be of interest to a wide range of specialists in the field of automation and computer technology, who are engaged in development and improvement of computer and information systems.

## REFERENCES

1. Sapozhnikov, V. V., Sapozhnikov, V. I., Efanov, D. V. Fundamentals of the theory of reliability and technical diagnostics [*Osnovy teorii nadezhnosti i tekhnicheskoi diagnostiki*]. St. Petersburg, Publishing house «Lan», 2019, 588 p. [Electronic resource]: <https://disk.yandex.ru/d/prRXxA8Ycxmce>. Last accessed 27.04.2021.
2. Parkhomenko, P. P., Sogomonyan, E. S. Fundamentals of technical diagnostics (optimization of diagnostic algorithms, hardware) [*Osnovy tekhnicheskoi diagnostiki (optimizatsiya algoritmov diagnostirovaniya, apparaturnye sredstva)*]. Moscow, Energoatomizdat publ., 1981, 320 p.
3. Matrosova, A. Yu. Algorithmic methods for the synthesis of tests [*Algoritmicheskie metody sinteza tekstov*]. Tomsk, Publishing house of Tomsk University, 1990, 207 p.
4. Hahanov, V. Cyber Physical Computing for IoT-driven Services. New York, Springer International Publishing AG, 2018, 279 p. DOI: 10.1007/978-3-319-54825-8.
5. Sogomonyan, E. S., Slabakov, E. V. Self-checking devices and fault-tolerant systems [*Samoproveryaemie ustroystva i otkazoustoichivie sistemy*]. Moscow, Radio i svyaz, 1989, 208 p.
6. Sapozhnikov, V. V., Sapozhnikov, V. I. B. Self-checking discrete devices [*Samoproveryaemie diskretnie ustroystva*]. St. Petersburg, Energoatomizdat publ., 1992, 224 p.
7. Mikoni, S. V. General diagnostic knowledge base of computing systems [*Obshchie diagnosticheskie bazy znanii vychislitelnykh sistem*]. St. Petersburg, SPIIRAN publ., 1992, 234 p.
8. Göessel, M., Graf, S. Error Detection Circuits. London, McGraw-Hill, 1994, 261 p.
9. Piestrak, S. J. Design of Self-Testing Checkers for Unidirectional Error Detecting Codes. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 1995, 111 p.
10. Göessel, M., Ocheretny, V., Sogomonyan, E., Marienfeld, D. New Methods of Concurrent Checking. 1<sup>st</sup> ed., Dordrecht, Springer Science + Business Media B.V., 2008, 184 p. ●

### Information about the author:

**Matrosova, Anzhela Yu.**, D.Sc. (Eng), Professor at the Department of Computer Security of the Institute of Applied Mathematics and Computer Science of National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia, [mau11@yandex.ru](mailto:mau11@yandex.ru).

Article received 02.04.2021, approved 23.04.2021, accepted 05.05.2021.



**SELECTED ABSTRACTS OF D.SC. AND PH.D. THESES SUBMITTED AT RUSSIAN TRANSPORT UNIVERSITIES**

*The texts of the abstracts originally written in Russian are published in the first part of the issue.*

*Тексты авторефератов на русском языке публикуются в первой части данного выпуска.*

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-21>

**Khamidov, O. R. Scientific fundamentals for improving methods for diagnosing asynchronous traction electric motors of locomotives on the railways of the Republic of Uzbekistan. Abstract of D.Sc. (Eng) thesis [Nauchnie osnovy sovershenstvovaniya metodov diagnostirovaniya asinkhronnykh tyagovykh elektrodvigatelye lokomotivov na zheleznykh dorogakh Respubliki Uzbekistan. Avtoref. dis... doc. tekh. nauk]. St. Petersburg, PGUPS publ., 2021, 32 p.**

The thesis stated and solved an important scientific and technical problem of developing scientifically based methods for diagnosing and predicting the technical state of asynchronous traction electric motors (ATED) of locomotives to increase their operational reliability and ensure the safety of train traffic on the railways of the Republic of Uzbekistan. At the same time, the results of bench tests and processing of measuring information of ATED diagnostic tools of locomotives in operation were used with the help of data mining, and specifically with the use of artificial neural networks (ANN) technology and expert systems.

It has been established that the existing systems for monitoring, diagnostics and management of locomotive operation require significant improvements. The process of monitoring and diagnostics of locomotives can no longer be standardised within the framework of «normal» maintenance and repair programs; software and technical maintenance poorly adapts to rapidly changing operating conditions and there is no support system, either decision-making system, or specialised software for parametric identification of forward and reverse neural network models of locomotive ATED.

The concept of construction of modern intelligent control systems, diagnostics and forecasting of the technical state of ATED equipment of locomotives based on the use of quantitative and qualitative models using neural

network technologies and methods of decision theory using expert systems is proposed.

It was found that a condition for effective use of bench tests and built-in diagnostic tools for ATED of locomotives is associated with the need to develop additional measures at the design stage of a modern locomotive, when it is necessary to provide for identification of critical groups of equipment subject to in-depth control, diagnostics, as well as for development of a list of controlled parameters and the choice of scientifically based methods for processing the received information on the basis of the performed analysis of methods of domestic and foreign stationary and built-in tools of technical diagnostics.

A complex of models of the process of control, diagnostics of the technical state of ATED of locomotives has been developed on the basis of SADT-methodology and IDEF-technologies, which makes it possible to identify the main series of functional diagnostic problems and substantiate the requirements for the choice of methods, algorithms and decision-making in the process of monitoring, diagnostics and forecasting of the technical condition of locomotives, which provides an increase in reliability of the classification of the actual state of locomotives in monitoring and diagnostic systems.

It has been established that a feature of the tasks of obtaining and processing information in control systems, diagnostics, in addition to the data structure, is the presence of expert diagnostics experience, the use of which makes it possible to increase the efficiency of classifying the actual state of ATED of locomotives with a limited volume of the training sample, as well as of predicting its technical state.

Formalised methods and techniques have been developed for monitoring and diagnosing the technical state of ATED of locomotives using neural network technologies, expert systems, based on the use of the mathematical model of ATED in the diagnostic process, which allows to increase productivity and reliability of the processes of diagnosing the technical state of locomotive equipment based on the results of bench tests and analysis of measurement information of built-in diagnostic tools for operating locomotives, which allow to reduce costs for monitoring and diagnostics of the technical condition of locomotives during its bench tests and during operation by 2–3 times due to the more complete use of a priori and a posteriori information about ATED operation modes, automation of data processing, application of

modern methods of data mining at all stages of ATED diagnosis and decision making.

Simulation models of ATED of locomotives and its components were developed, with the help of which a training set for ANN was created.

A technique based on modern neural network technologies has been developed, which makes it possible to quickly and efficiently investigate asymmetric modes during operation of ATED of locomotives, allowing to solve a wide range of practical problems of monitoring the technical condition of locomotive ATED.

An improved method of deep learning (combining functions) for monitoring, diagnosing and predicting the technical condition of windings and bearing assemblies of ATED of locomotives is substantiated and proposed, which provides an opportunity to improve the learning ability using a deep auto-encoder of faults and ATED features to further increase the diagnostic efficiency. Deep linking functions are introduced into softmax environment to train an intelligent locomotive ATED winding and bearing fault diagnosis model. The results obtained confirm that the proposed method is more effective and reliable for studying the features and diagnostics of faults in windings and bearings of ATED of a locomotive than traditional methods. In comparison with the standard neural network, the proposed method shows slightly better performance.

The versatility of the developed methods and methods for detecting malfunctions, processing measurement information to improve quality of diagnosing ATED of a locomotive was confirmed in the process of implementing an improved deep learning method for detecting a malfunction, diagnosing and predicting the technical condition of the rotor and bearing assemblies of ATED of locomotives.

It is theoretically substantiated that the use of up-to-date intelligent methods and software of systems for monitoring parameters, diagnostics and forecasting the technical state of ATED with the use of ANN and expert systems gives a significant economic effect by preventing sudden failures and accidents, identifying incipient defects and taking timely measures to prevent their development, denial of routine maintenance on a serviceable ATED, correct planning of repairs, accurate planning of consumables for repairs and, as a result, a decrease in spare parts stocks, as well as by extending the service life of the objects of diagnostics.

Reliability and adequacy of neural network diagnostic models is confirmed by the stable convergence of simulation results and data obtained from the results of ATED bench tests of modern locomotives. The root-mean-square error of the response of the models is less than the random error of changing the monitored diagnostic parameters of locomotives.

It has been established that it is highly desirable to use an improved method of deep learning of neural networks to create diagnostic devices and software and hardware systems, since it is a powerful means of recognising and predicting signals, and its learning ability makes it possible to develop adaptive systems for protecting and diagnosing locomotive equipment. The use of neural network technologies for operational control, correction of the volumes of planned types of repairs, as well as assessment of the technical condition of locomotive equipment has good prospects, allowing the maximum use of the entire amount of diagnostic information stored on the onboard computer to improve efficiency of the maintenance and repair system.

The work had theoretically substantiated and experimentally confirmed the effectiveness of the proposed methodology, which diagnoses faults for balanced and unbalanced ATED data sets of locomotives using modern deep learning methods. First, the received signals are integrated into the constructed NS algorithm for layer-by-layer feature extraction, after which the extracted deeply sensitive features are transferred to the classifier for monitoring, diagnosing and predicting the technical state of ATED of locomotives.

*05.22.07 – Railway rolling stock, train traction and electrification.*

*The work was performed and defended at Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University.*

**Ledney, A. Yu. Development of methodological approaches to assessing the economic efficiency of development of transport infrastructure, considering the volume and unevenness of traffic. Abstract of Ph.D. (Economics) thesis [Razrabotka metodicheskikh podkhodov k otsenke ekonomicheskoi effektivnosti razvitiya transportnoi infrastruktury s uchetom ob'emov neravnomernosti perevozok. Avtoref. dis... kand. ekonom. nauk]. Moscow, RUT publ., 2020, 24 p.**

The objective of the dissertation research is to develop an improved methodological toolkit for assessing effectiveness of development of transport



infrastructure, considering unevenness of transportation volumes.

The economic analysis of the use and development of the Russian transport infrastructure is carried out, the main problematic issues that need to be addressed to ensure sustainable development of the country's economy are highlighted.

The evolution of methods for assessing the economic efficiency of development of transport infrastructure has been analysed, considering domestic and international experience, and the directions for their improvement have been substantiated.

The problem of uneven transportation and its impact on the economic efficiency of projects and programs for development of transport infrastructure has been studied, the methodological tools for determining seasonal unevenness of the load of the transport infrastructure have been improved.

The influence of seasonal unevenness of transportation on economic indicators of the use and development of transport infrastructure (using the example of railways) is revealed.

An improved methodology for assessing effectiveness of capital investments in development of transport infrastructure, considering seasonal unevenness of transportation and the load of infrastructure, is proposed.

In the course of the completed dissertation research, the scientific task of improving the methodological tools for assessing the effectiveness of development of transport infrastructure, taking into account unevenness of transportation volumes, was stated and solved.

Using the improved methodological tools, the working hypothesis of the study was confirmed that when assessing the economic efficiency of transport infrastructure development projects, one should consider the factor of uneven traffic, which significantly affects the economic indicators of transport activity.

Based on the research carried out, in the future, it is planned to develop a comprehensive methodology for assessing the economic efficiency of development of transport infrastructure, considering the volume and unevenness of traffic, including an assessment of increase in the value of transport infrastructure by reducing unevenness of loading.

*08.00.05 – Economics and management of the national economy (economics, organisation and management of enterprises, industries and complexes – transport).*

*The work was performed and defended at Russian University of Transport.*

**Makarova, E. A. Development of the method of strength calculation of rigid airfield pavements. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Razvitie metoda prochnostnogo rascheta zhestkikh aerodromnykh pokrytii. Avtoref. dis... kand. tekh. nauk]. Moscow, MADI publ., 2020, 24 p.**

The purpose of the dissertation research was to improve the method for calculating rigid coatings using optimisation methods.

The results of the research carried out made it possible to draw the main conclusions on the topic under study.

The limiting states of calculating rigid airfield pavements, presented in the form of inequalities without restraints, make the problem indefinite and lead to the appearance of non-optimal options for pavements.

Based on the study, it was found that replacing the distributed load with a concentrated force when determining the deflections is possible without restrictions, and for bending moments it is permissible only for aircraft with a track and a chassis bogie base exceeding 0,6 m.

The drawback of the method for calculating rigid airfield pavements is revealed, which consists in the existence of a false solution in the range of admissible pavement thicknesses. The false decision is typical for six-wheel aircraft supports with a track that exceeds the base. No false solutions were found for two- and four-wheel supports.

The estimation of the number of possible optimal solutions of the problem of strength calculation of airfield pavements is carried out.

It has been established that the structures of rigid airfield pavements studied at civil airports in Russia and foreign countries have a safety margin with a percentage of understressing reaching 34 %.

The introduction into the design practice of the proposed method for calculating rigid airfield pavements will reduce the required value of the pavement layer thickness on average for a single-layer option to 4 cm, and for a two-layer option – up to 7 cm. At the same time, a reduction in the cost of paving construction can reach 20 %.

The research carried out indicates that special attention should be paid to the following priority tasks: improving the methodology for calculating asphalt concrete airfield pavements; improvement of the methodology for calculating mixed airfield pavements; improvement of the methodology for calculating reinforced concrete

airfield pavements, considering new building materials.

*05.23.11 – Design and construction of roads, metro, airfields, bridges and transport tunnels.*

*The work was performed and defended at Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI).*

**Nguyen Van Huang. Application of predictive regulators to control distributed generation installations in railway power supply systems. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Primeneniye prognosticheskikh regulyatorov dlya upravleniya ustanovkami raspredelennoi generatsii v sistemakh elektrosnabzheniya zheleznykh dorog. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk]. Irkutsk, IrGUPS publ., 2020, 18 p.**

Decentralised power generation technologies based on distributed generation (DG) installations are fully applicable to railway transport. The purpose of the research presented in the thesis was to develop methods and means to improve quality of control processes in power supply systems of railways (PSSR) equipped with distributed generation installations.

A structural-parametric synthesis of control systems for installations of distributed (own) generation of railway transport, implemented based on automatic excitation regulators (AER) and rotation speed (ASR), using predictive algorithms, has been performed.

A method for controlling the frequency of DG installations has been developed, based on the use of auto-predictive (self-adjusting) speed controllers and applicable in implementation of intelligent electrical networks (Smart Grid).

A method is proposed for determining time constants of predictive links for automatic controllers of excitation and speed of synchronous generators.

A technique has been developed for tuning digital automatic regulators of DG using predictive control of distributed generation installations with energy storage devices, which ensures a decrease in voltage dips; on the basis of computer studies, it is shown that the combined use of predictive algorithms and coordination of regulator settings makes it possible to obtain an additional effect when controlling the rotor speed and voltage of synchronous generators of DG in transient operating modes.

A method for eliminating flicker in low voltage networks based on controlled distributed generation

units has been developed; prognostic algorithms are proposed for controlling the modes of gas turbine plants.

Digital models and results of modelling dynamic processes in the areas of non-traction consumers' power supply and practical recommendations on the use of predictive controllers for DG installations were used in the scientific and technical developments of the «Parametr» centre. Practical suggestions for the use of predictive algorithms are implemented in the recommendations for tuning automatic regulators of a turbine generator set with a capacity of 3,125 MW•A of the central production site of Khiagdinskoye field. The thesis materials are used in the educational process at the departments of educational institutions of Irkutsk and the Phu Tho province of the Socialist Republic of Vietnam.

The prospect of further development of the topic may consist in conducting research aimed at using nonlinear predictive models in the excitation and speed controllers of DG generators, as well as multi-agent technologies for coordinated adjustment of AER and ASR.

*05.13.06 – Automation and control of technological processes and production (transport).*

*The work was performed at Irkutsk National Research Technical University and Irkutsk State Transport University, defended at Irkutsk State Transport University.*

**Rasskazova, E. E. Management of resource supply of the innovative development of a transport company. Abstract of Ph.D. (Economics) thesis [Upravlenie resursobespecheniem urovnya innovatsionnogo razvitiya transportnoi kompanii. Avtoref. dis... kand. ekonom. nauk]. Moscow, RUT publ., 2020, 24 p.**

The purpose of the dissertation research is to develop an economic toolkit for comprehensive assessment and management of the innovative development of a transport company in a highly dynamic environment.

As a result of the study, the hypothesis was confirmed that the structure of innovative potential and its resource supply determine the degree and rate of innovative development of a transport company, and also significantly affect other components of the potential.

A set of indicators characterising the components of potential, which determine the level of innovative development of the company, is revealed. They are associated with the



resources used, their structure, applied technologies. Based on this analysis, the components of the company's innovative potential were formed.

Models and an algorithm for determining the degree of innovative development of a transport company have been developed, which make it possible to assess its impact on all components of its potential, to increase the objectivity of assessing the actual level of innovative development of a transport company.

A methodological approach to assessing the impact of the components of the innovative potential on economic indicators of a company is proposed, and an algorithm for assessing the necessary change in the components of the potential for the given requirements for changing economic indicators is formed. The algorithm can be used as the basis for a system for monitoring the economic activity of a transport company.

As prospects for further research on this topic, it seems necessary to elaborate on the level of innovative development of a transport company, as well as to analyse the relationship between the structure of resources and the level of innovativeness of technology, the nature and phases of the life cycle of the project being implemented.

*08.00.05 – Economics and management of the national economy (economics, organization and management of enterprises, industries, complexes – transport).*

*The work was performed and defended at Russian University of Transport.*

**Tyulyandin, O. N. Development of methods and means of RFID-navigation for control of movement of metro trains. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Razrabotka metodov i sredstv RFID-navigatsii dlya upravleniya dvizheniem poezdov metropolitena. Avtoref. dis... kand. tekh. nauk]. St. Petersburg, PGUPS publ., 2020, 18 p.**

The purpose of the study was to increase efficiency of functioning of automatic control systems for movement of metro trains using RFID navigation, where navigation accuracy and reliability are the main indicators.

In the course of the research carried out in the thesis work, an analytical review of existing methods and means of binding metro trains to the coordinates of the track in Russia and abroad

was carried out. Based on the results of the review, it was proposed to create RFID navigation, in which navigation accuracy and reliability are the main indicators.

The functions of RFID navigation are determined, including continuous positioning of trains in operation on the route with sufficient accuracy to solve problems of automatic control of movement of metro trains. The main difference between RFID navigation and existing methods is the automatic input of initial coordinates of trains without participation of the driver. A compensation method has been developed that made it possible to ensure the continuity of the binding when zeroing the accumulated errors.

Probabilistic methods, mathematical models, and programs for assessing the probability of gaps in reading radio frequency tags for readers with external triggering and with continuous scanning have been developed, which made it possible to investigate their causes and give recommendations for reducing the number of gaps by two orders of magnitude, which consists in increasing the scanning time to the maximum value. For new developments, a transition to continuous scanning readers is proposed.

Methods, mathematical models, and programs have been developed for assessing the navigation accuracy of positioning trains using radio frequency tags. In this work, accuracy characteristics of RFID-binding have been obtained for the first time. For readers with an external trigger, the binding accuracy in the low-speed zone is  $\pm 25$  cm, for readers with continuous scanning  $\pm 10$  cm. The results confirmed the possibility of using RFID navigation to control movement of trains at closed-type stations.

Original methods and algorithms for technical diagnostics of RFID-means have been developed, allowing to monitor and predict the technical condition of the radio-frequency path of SBPP equipment. The proposed solutions make it possible to timely detect an increase in the contact resistance in detachable connections in order to prevent gaps in the reading of radio frequency tags due to signal attenuation.

*05.22.08 – Management of transportation processes.*

*The work was performed and defended at Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University.*

## NEW BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION

**The list of titles originally edited in Russian is published in the first part of the issue.**

**Список изданий на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.**

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-22>

Arepiev, A. N. Conceptual foundations for the synthesis of a propeller-driven aircraft project: theory, examples, tests [*Kontseptualnie osnovy sinteza proekta vintovykh samoletov: teoriya, primery, testy*]. St. Petersburg, Moya stroka publ., 2021, 641 p. ISBN 978-5-9965-1502-8.

Bazhenov, S. G. Fundamentals of flight dynamics: Textbook [*Osnovy dinamiki poleta: Uchebnik*]. Moscow, Fizmatlit publ., 2021, 431 p. ISBN 978-5-9221-1906-1.

Bochkareva, N. A. Features of certain types of cargo transportation (road transport): Study guide [*Osobennosti otdelnykh vidov gruzovykh perevozok (avtomobilnyy transport): Ucheb. posobie*]. Saratov, Profobrazovanie publ., 2021, 250 p. ISBN 978-5-4488-1290-3.

Bogdanova, V. A. Gogoleva, A. V., Kotenko, O. V. [et al]. Operation technology of a marshalling yard: Study guide [*Tekhnologiya raboty sortirovochnoi stantsii: Ucheb. posobie*]. St. Petersburg, PGUPS publ., 2021, 66 p. ISBN 978-5-7641-1494-1.

Gavrilenko, N. G., Borodulina, S. A. Strategic management of development of the motor transport system of the Russian Federation in the structure of the digital economy: Monograph [*Strategicheskoe upravlenie razvitiem aviotransportnoi sistemy RF v structure tsifrovoi ekonomiki: Monografiya*]. Omsk, Publishing house OmGA, 2021, 171 p. ISBN 978-5-98566-199-6.

Gordeychik, S. V. Cybersecurity of microprocessor control systems in railway transport [*Kiberbezopasnost' mikroprotsessornykh sistem upravleniya na zheleznodorozhnom transporte*]. Moscow, Goryachaya liniya – Telecom publ., 2021, 118 p. ISBN 978-5-9912-0897-0.

Grigoriev, V. A., Kuzmichev, V. S., Zrellov, V. A. [et al]. Small-sized aircraft gas turbine engines: Study guide [*Malorazmernie aviatsionnye gazoturbinnie dvigateli: Ucheb. posobie*]. Ed. by D.Sc. (Eng) A. I. Lanshin. Samara, Publishing house of Samara University, 2021, 435 p. ISBN 978-5-7883-1587-4.

Guziy, A. G., Lushkin, A. M., Mishin, A. V., Shiryaev, D. A. Aircraft operator flight safety

management system: Study guide [*Sistema upravleniya bezopasnostyu poletov ekspluatanta vozdukhnykh sudov: Ucheb. posobie*]. Moscow, Publishing house of the Academy of Zhukovsky, 2021, 180 p. ISBN 978-5-907275-81-2.

Ismagilov, F. R., Vavilov, V. E., Valiev, R. Sh., Urazbakhtin, R. R. A systematic approach to design of aircraft electrical machines: Monograph [*Sistemnyi podkhod k proektirovaniyu aviatsionnykh elektricheskikh mashin: Monografiya*]. Moscow, Innovatsionnoe mashinostroenie publ., 2021, 306 p. ISBN 978-5-907104-67-9.

Ivanov, D. A., Petrova, T. V. Methods and means of diagnosing aviation equipment: Study guide [*Metody i sredstva diagnostirovaniya aviatsionnoi tekhniki: Ucheb. posobie*]. St. Petersburg, Gamma publ., 2021, 114 p. ISBN 978-5-4334-0514-1.

Kashirin, V. P., Likhacheva, E. V., Nikolaeva, L. P., Ognev, A. S. Effective stress management as a component of crew resource management (CRM) [*Effektivnoe preodolenie stressov kak sostavlyayushchaya upravleniya resursami ekipazha (CRM)*]. Moscow, Sputnik + publ., 2021, 21 p. ISBN 978-5-9973-5978-2.

Khachumov, M. V. Methods for processing semi-structured information and intelligent-geometric control of unmanned aerial vehicles [*Metody obrabotki slabostrukturirovannoi informatsii i intellektualno-geometricheskogo upravleniya bespilotnymi letatelnyimi apparatami*]. Moscow, URSS: Lenand, cop. 2021, 299 p. ISBN 978-5-9710-8733-5.

Khodosh, M. S., Bachurin, A. A. Organisation of transport and logistics activities in road transport: Textbook [*Organizatsiya transportno-logisticheskoi deyatel'nosti na avtomobilnom transporte: Uchebnik*]. 4<sup>th</sup> ed., revised. Moscow, Academia publ., 2021, 303 p. ISBN 978-5-4468-9192-4.

Klimov, A. A., Struchkov, A. V. Study of operation of the tribological pair «Locomotive wheel bandage – locomotive brake shoe» under operating conditions: Monograph [*Issledovanie raboty tribologicheskoi pary «Bandazh koleasa lokomotiva – tormoznaya lokomotivnaya kolodka» v usloviyakh ekspluatatsii Monografiya*]. Krasnoyarsk, Siberian State University named after M. F. Reshetnev, 2021, 295 p. ISBN 978-5-86433-853-7.

Kudryakov, S. A., Kulchitsky, V. K., Povarenkin, N. V. [et al]. Radio-technical support of aircraft flights and aviation telecommunications: Study guide [*Radiotekhnicheskoe obespechenie poletov vozdukhnykh sudov i aviatsionnaya elektrosvyaz: Ucheb. posobie*]. Ed. by S. A. Kudryakov. Moscow, Infra-M, 2021, 298 p. ISBN 978-5-16-016820-3.



Likhacheva, E. V., Nikolaeva, L. P., Ognev, A. S. Situation awareness as a component of crew resource management (CRM) [*Osoznanie situatsii (osvedomlennost') kak sostavlyayuschaya upravleniya resursami ekipazha (CRM)*]. Moscow, Sputnik + publ., 2021, 21 p. ISBN 978-5-9973-5985-0.

Lykova, A. A., Markov, D. S., Nasedkin, O. A. [et al]. Methods for modelling systems and processes in railway automation and telemechanics: Study guide [*Metody modelirovaniya sistem i protsessov v zheleznodorozhnoi avtomatike i telemehanike: Ucheb. posobie*]. St. Petersburg, PGUPS publ., 2021, 63 p. ISBN 978-5-7641-1600-6.

Mesropyan, A. V., Mityagina, M. O. Experimental studies of electrohydraulic servo drives: Study guide [*Eksperimentalnae issledovaniya elektrogidravlicheskiikh sledyashchikh privodov: Ucheb. posobie*]. Ufa, USATU publ., 2021, 181 p. ISBN 978-5-4221-1453-5.

Moikeichev, E. Yu., Moikeicheva, I. A. Transport support of commercial activities: Study guide [*Transportnoe obespechenie kommercheskoi deyatelnosti: Ucheb. posobie*]. St. Petersburg, PGUPS publ., 2021, 68 p. ISBN 978-5-7641-1557-3.

Nikolaeva, L. P., Likhacheva, E. V., Ognev, A. S. Effective interpersonal communication as a component of crew resource management (CRM) [*Effektivnie mezhlichnostnie kommunikatsii kak sostavlyayuschaya upravleniya resursami ekipazha (CRM)*]. Moscow, Sputnik + publ., 2021, 21 p. ISBN 978-5-9973-5987-4.

Nikonov, V. O. Current state, problems and ways of increasing the efficiency of timber transportation: Monograph [*Sovremennoe sostoyanie, problemy i puti povysheniya effektivnosti lesovoznogo avtomobilnogo transporta: Monografiya*]. Voronezh, VGLTU publ., 2021, 202 p. ISBN 978-5-7994-0918-0.

Osintsev, N. A. Organisation of cargo road transportation. Tasks and exercises: Workshop [*Organizatsiya gruzovykh avtomobilnykh perezovok. Zadachi i uprazhneniya: Praktikum*]. Magnitogorsk, Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2021, 103 p. ISBN 978-5-9967-2107-8.

Petrova, T. V., Ivanov, D. A. Operational adaptability of civil aviation aircraft: Study guide [*Ekspluatatsionnaya tekhnologichnost vozдушnykh sudov grazhdanskoi aviatsii: Ucheb. posobie*]. St. Petersburg, SPbGUGA publ., 2021, 108 p. ISBN 978-5-907354-08-1.

Rezhnikov, A. F., Bogomolov, A. S. System analysis of emergency combinations of events in control of man-machine systems [*Sistemnyy analiz avariinykh kombinatsii sobytii pri upravlenii*

*cheloveko-mashinnymi sistemami*]. Saratov, Publishing house of Saratov University, 2021, 126 p. ISBN 978-5-292-04684-4.

Starchikov, S. A. Basics of air navigation: Study guide [*Osnovy aeronavigatsii: ucheb. posobie*]. Saratov, Profobrazovanie publ., 2021, 247 p. ISBN 978-5-4488-0884-5.

Vetoshkin, V. M., Gumenyuk, I. V., Lyalyuk, I. N., Chiskidov, S. V. Fundamentals of flight and air traffic control in civil aviation of the Russian Federation: Study guide [*Osnovy upravleniya poletami i vozdyshnym dvizheniem aviatsii Rossiiskoi Federatsii: Ucheb. posobie*]. Moscow, Publishing house MAI, 2021, 99 p. ISBN 978-5-4316-0800-1.

**Compiled by Natalia OLEYNIK**

**The books originally published in English**

Augusto, J. C. Handbook of Smart Cities. Springer Nature Switzerland AG, 2021, XXVII, 1726 p. Hardcover ISBN 978-3-030-69697-9; eBook ISBN 978-3-030-69698-6. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-69698-6>.

Blanchard, D. Supply Chain Management Best Practices, 3<sup>rd</sup> Edition. Wiley, 2021, 320 p. ISBN 978-1-119-73819-0.

Crainic, T. G., Gendreau, M., Gendron, B. Network Design with Applications to Transportation and Logistics. Springer, Cham, 2021, VIII, 668 p. Hardcover ISBN 978-3-030-64017-0; Softcover ISBN 978-3-030-64020-0. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-64018-7>.

Deep Learning and Big Data for Intelligent Transportation. Enabling Technologies and Future Trends. Series: Studies in Computational Intelligence. Ed. by Khaled R. Ahmed, Aboul Ella Hassanien. Springer Nature Switzerland AG, 2021, X, 264 p. Hardcover ISBN 978-3-030-65660-7. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-65661-4>.

Miljanic, O. S., Prat, J. A. Introduction to Energy and Sustainability. Wiley, 2021, 608 p. ISBN 978-3-527-81863-1.

Smart Transportation Systems 2021. Proceedings of 4<sup>th</sup> KES-STs International Symposium. Ed. by Xiaobo Qu, Lu Zhen, Robert J. Howlett, Lakhmi C. Jain. Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2021, X, 182 p. Hardcover ISBN 978-981-16-2323-3. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-981-16-2324-0>. ●

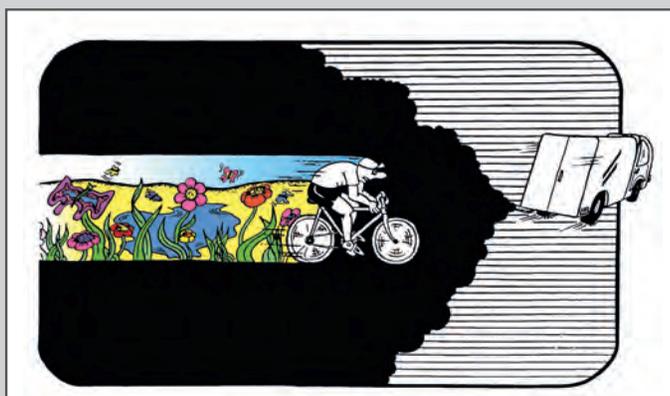


Рис. Вячеслава Шилова / Pic. Viacheslav Shilov

Весна... / The spring...

## АНЕКДОТ

## НА ОБОЧИНЕ

● Конец юности – когда в транспорте начинают спрашивать студенческий билет.

– Начало старости – когда перестают спрашивать пенсионный.

● Гонщики на автомобилях – автогонщики.

Гонщики на велосипедах – велогонщики.

Гонщики на мотоциклах – мотогонщики.

Гонщики на самокатах... – самогонщики?

● Надпись у железнодорожного переезда: «Поезд здесь проходит за 20 секунд независимо от того, находится ли ваш автомобиль на рельсах или остановился за шлагбаумом».

## Афоризмы Quotes

● Железнодорожная станция – это нечто, что может породить город.

**Сантьяго Калатрава, испанский архитектор, инженер, скульптор**

● A railway station is something that can generate a city.

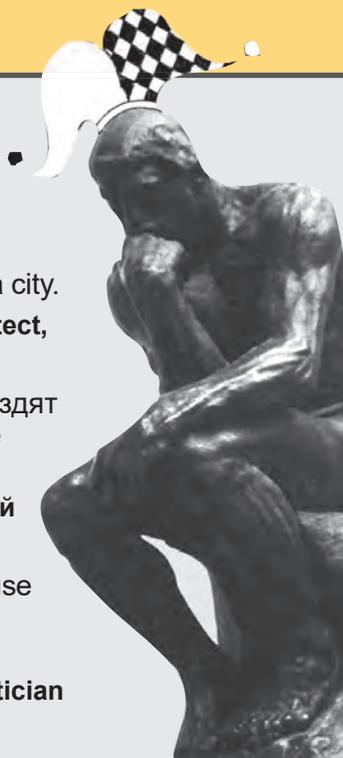
**Santiago Calatrava, Spanish architect, engineer, sculptor.**

● Продвинутый город – это не тот, где бедные ездят на автомобилях, а скорее тот, где даже богатые пользуются общественным транспортом.

**Энрике Пеньялоса, колумбийский политик и урбанист**

● An advanced city is not one where even the poor use cars, but rather one where even the rich use public transport.

**Enrique Peñalosa, Columbian politician and urbanist**





**World of Transport  
and Transportation**

Vol.19, Issue 2, 2021

*Editor-in-Chief Boris Lyovin*

For your letters:

Russian University of Transport  
World of Transport and  
Transportation Journal,  
9, str. 9, Obraztsova ul.,  
Moscow, 127994, Russia.  
Tel/fax +7(495)684 2877  
e-mail: mirtr@mail.ru  
wtjournal@gmail.com

Почтовый адрес редакции:  
127994, Москва,  
ул. Образцова, д.9, стр. 9.  
Российский университет  
транспорта,  
Издательство «Транспорт РУТ»  
Тел/факс (495)6842877  
e-mail: mirtr@mail.ru  
wtjournal@gmail.com



ISSN 1992-3252



9 771992 325778 >