ISSN 1992-3252

ТРАНСПОРТА МИР

WORLD OF TRANSPORT AND TRANSPORTATION

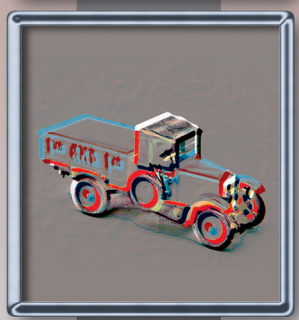
1 2021
Том / Vol. 19



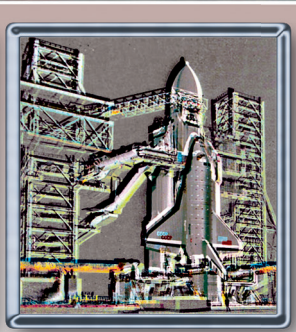


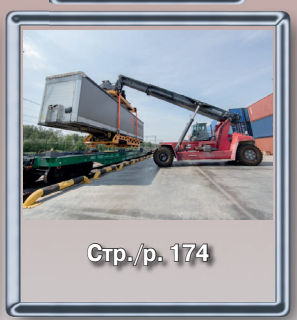












Стр./p. 174





ДЕНЬ НАУКИ

В День российской науки 8 февраля 2021 года в Минтрансе состоялось селекторное совещание. Министр транспорта Виталий Савельев в режиме видеоконференции встретился с руководителями высших учебных заведений транспортного комплекса. Участие в мероприятии приняли руководители подведомственных Минтрансу агентств и транспортных организаций.

В 2020 году несмотря на ограничения, вызванные распространением новой коронавирусной инфекции, отмечен рост объёма научно-исследовательских работ. Основные направления – развитие инфраструктуры и перевозок на железных дорогах, разработка и обслуживание программного обеспечения, комплексное сопровождение Московских центральных диаметров. Среди новых технологических решений – использование нейросетей при проведении интеллектуального осмотра вагонов поездов, электронные пломбы на базе ГЛОНАСС в целях ускорения контейнерных перевозок, технология больших данных для моделирования пассажиропотоков в Московском транспортном узле.

Также были заслушаны доклады о научном и кадровом обеспечении Восточного полигона и Северного морского пути.

По материалам и с использованием фотографий Министерства транспорта Российской Федерации: https://mintrans.gov.ru/press-center/news/9854 ●

THE SCIENCE DAY

February 8, 2021 marked the Russian Science Day. The Ministry of Transport of the Russian Federation held on that occasion a conference call. Minister of Transport Vitaly Savelyev met with the rectors of transport higher educational institutions via videoconference. The event was also attended by the heads of agencies and transport organisations subordinate to the Ministry of Transport.

In 2020, despite the constraints caused by the spread of the coronavirus pandemics, there was a growth in research conducted on transport issues. The core fields studied referred to infrastructure, rail transportation, software development, provision of comprehensive follow-up measures regarding development of Moscow rail central diameters. New technological solutions related to neural networks intended for intelligent inspection of rail wagons, electronic sealing based on GLONASS to accelerate container transportation, Big Data technology for modelling passenger flows in the Moscow transport hub. Reports on the Eastern Segment of rail network and the Northern Sea Route were presented as well.

Compiled based on the press release and photos of the Ministry of Transport of the Russian Federation: https://mintrans.gov.ru/press-center/news/9854 ●

Фото на первой обложке – ОАО «РЖД»: https://company.rzd.ru/ru/9407/page/68650?id=20423.
Front cover photos – JSC Russian Railways: https://company.rzd.ru/ru/9407/page/68650?id=20423.

Транспорт МИР

•ТЕОРИЯ •ИСТОРИЯ
•КОНСТРУИРОВАНИЕ БУДУЩЕГО

1 2021 (92)

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 Казахской академии транспорта и коммуникаций

Б. М. Лапидус – доктор экономических наук, профессор

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

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

Валерий КОССОВ, Александр САВИН, Олег КРАСНОВ

К вопросу определения относительной контактно-усталостной повреждаемости поверхности катания рельсов 6

Виктор АЛЕКСЕЕВ, Леонид БАРАНОВ, Максим КУЛАГИН, Валентина СИДОРЕНКО

Построение архитектуры интеллектуальной системы управления городской рельсовой транспортной системой 18

НАУКА И ТЕХНИКА

Тамара БУНЬКОВА

Повышение живучести железнодорожного колеса за счёт применения поверхностно-упрочняющих технологий. 48

Александр ШАБЕЛЬНИКОВ, Иван ОЛЬГЕЙЗЕР, Андрей СУХАНОВ

Концепция цифровой платформы на сортировочных станциях. . . 60

Анатолий ПОСТОЛИТ

Перспективы применения искусственного интеллекта и компьютерного зрения в транспортных системах и подключенных автомобилях. 74

ЭКОНОМИКА

Василий КУПРИЯНОВСКИЙ, Дмитрий НАМИОТ, Олег ПОКУСАЕВ

Физический интернет и транспортно-логистические системы цифровой экономики 92

Алексей ТЯПУХИН, Мария КОЛОВЕРТНОВА

Потоки в цепях создания ценностей 110

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Евгения МЕХЕДОВА

Анализ влияния количества остановок пассажирских и пригородных поездов на выполнение графика их движения . . . 136

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

Татьяна ПАШКОВА, Надежда ФИЛИППОВА, Анастасия ПОЗДНЯК
Международная перевозка крупнотоннажных грузов на примере перевозки компонентов ветроэнергетической установки 156

Дарья КОЧНЕВА, Сергей СИЗЫЙ, Хао ЧАН
Методика оптимального размещения контейнеров в поездах при наличии грузовых операций в пути следования 174

Максим ЖЕЛЕЗНОВ, Олег КАРАСЕВ, Сергей ТРОСТЬЯНСКИЙ, Роман СМИРНОВ
Высокоскоростные пассажирские железнодорожные перевозки – приоритет долгосрочного развития 194

Дмитрий ЕНИН
Подходы к определению уровня дублирования маршрутов регулярных перевозок 210

ОБРАЗОВАНИЕ И КАДРЫ

Александра СМЫК, Татьяна ТКАЧЕВА, Галина ТИМОФЕЕВА
Опыт применения онлайн-технологий в транспортном образовании 230

Надежда ГРУВЕР, Ольга ЗЕМЛИНА, Регина НАЗАРОВА
Волонтёрская помощь инвалидам и маломобильным гражданам в образовательных организациях высшего образования транспортной отрасли 246

КОЛЕСО ИСТОРИИ

Дмитрий ЛЕВИН
Золотая пряжка стального пояса России. К 120-летию Кругобайкальской железной дороги 260

Пресс-архив
Савва Иванович Мамонтов о железнодорожном хозяйстве в России 272

КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

Виктор ШАРОВ
Управление перевозками: оптимизация решений 280
Авторефераты диссертаций 284
Новые книги о транспорте 294

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 2021 Iss. 1

The journal is published by Russian University of Transport.

Founded in 2003 by MIIT.

Editorial council:

Boris A. Lyovin, D.Sc. (Eng), professor of Russian University of Transport, chairman
Alexander C. Golovnich, D.Sc. (Eng), associate professor of Belarusian State Transport University
Alexander A. Gorbunov, D.Sc. (Pol), professor of Russian University of Transport
Boris V. Gusev, corresponding member of the Russian Academy of Sciences
Nickolay A. Duhno, LL.D., professor of Russian University of Transport
Dmitry G. Evseev, D.Sc. (Eng), professor of Russian University of Transport
Vladimir I. Kolesnikov, member of the Russian Academy of Sciences, professor of Rostov State University of Railway Engineering
Constantine L. Komarov, D.Sc. (Eng), professor of Siberian State University of Railway Engineering
Bakytzhan M. Kuanyshev, D.Sc. (Eng), professor of Kazakh Academy of Transport and Communications
Boris M. Lapidus, D.Sc. (Econ), professor
Dmitry A. Macheret, D.Sc. (Econ), professor of Russian University of Transport, first deputy chairman of the United scientific council of JSC Russian Railways
Leonid B. Mirotin, D.Sc. (Eng), professor of Moscow State Automobile and Road Technical University
Taisiya V. Shepitko, D.Sc. (Eng), professor of Russian University of Transport
Aleksander V. Sladkowski, D.Sc. (Eng), professor of Silesian University of Technology (Republic of Poland)
Yuriy I. Sokolov, D.Sc. (Econ), professor of Russian University of Transport
Tran Dac Su, D.Sc. (Eng), professor of the University of Transport and Commmunications (Hanoi, Vietnam)

CONTENTS

Page numbering below refers to the texts in English

THEORY

Valery S. KOSSOV, Alexander V. SAVIN, Oleg G. KRASNOV
On the Issue of Determining Relative Rail Rolling Contact Fatigue Damageability 12

Victor M. ALEXEEV, Leonid A. BARANOV, Maxim A. KULAGIN, Valentina G. SIDORENKO
Building Architecture of Intelligent Control System for Urban Rail Transit System 33

SCIENCE AND ENGINEERING

Tamara G. BUNKOVA
Increasing Service Life of a Railway Wheel with Surface Hardening Technology 54

Alexander N. SHABELNIKOV, Ivan A. OLGEIZER, Andrey V. SUKHANOV
Concept of Digital Platform at Marshalling Yards 67

Anatoly V. POSTOLIT
Prospects for the Use of Artificial Intelligence and Computer Vision in Transport Systems and Connected Cars 83

ECONOMICS

Vasily P. KUPRIYANOVSKY, Dmitry E. NAMIOT, Oleg N. POKUSAEV
Physical Internet and Logistics Transportation Systems of the Digital Economy 101

Alexey P. TYAPUKHIN, Maria Yu. KOLOVERTNOVA
Flows in Value Chains 123

ADMINISTRATION, MANAGEMENT AND CONTROL

Evgenia A. MEKHEDOVA
Analysis of Influence of Number of Station Stops on Punctuality of Passenger and Suburban Trains 146

Tatiana N. PASHKOVA, Nadezhda A. FILIPPOVA, Anastasia N. POZDNYAK
International Transportation of Heavy and Oversized Cargo: Example of Haulage of Components of Wind Power Plant 165

EDITORIAL BOARD
Boris A. LYOVIN,
editor-in-chief
Evgeny Yu. ZARECHKIN,
first deputy editor-in-chief

BOARD MEMBERS
Evgeny S. ASHPIZ,
D.Sc. (Eng), associate professor of Russian University of Transport
Leonid A. BARANOV,
D.Sc. (Eng), professor of Russian University of Transport
Alexander M. BELOSTOTSKIY,
D.Sc. (Eng), professor of Russian University of Transport
Galina V. BUBNOVA,
D.Sc. (Econ), professor of Russian University of Transport
Yuriy A. BYKOV,
D.Sc. (Eng), professor of Russian University of Transport
Victor S. FEDOROV,
D.Sc. (Eng), professor of Russian University of Transport
Vladimir M. FRIDKIN,
D.Sc. (Eng), senior researcher of Russian University of Transport
Victor A. GRECHISHNIKOV,
D.Sc. (Eng), associate professor of Russian University of Transport
Valeriy I. KONDRASHENKO,
D.Sc. (Eng), senior researcher of Russian University of Transport
Alexey A. LOKTEV,
D.Sc. (Phys.-Math.), professor of Russian University of Transport
Svyatoslav Y. LUTSKIY,
D.Sc. (Eng), professor of Russian University of Transport
Oleg E. PUDOVIKOV,
D.Sc. (Eng), associate professor of Russian University of Transport
Victor A. SHAROV,
D.Sc. (Eng), professor of Russian University of Transport
Alla K. SHELIKHOVA,
head of editorial office
Vladimir N. SIDOROV,
D.Sc. (Eng), professor of Russian University of Transport
Natalia P. TERYOSHINA
D.Sc. (Econ), professor of Russian University of Transport
Vladimir B. ZYLYOV,
D.Sc. (Eng), professor of Russian University of Transport

EDITORIAL STAFF
Ivan A. GLAZOV,
editor
Natalia C. OLEYNIK,
editorial secretary
Maria V. MASLOVA,
translator

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

Daria I. KOCHNEVA, Sergey V. SIZIY, Hao CHANG
Methodology for Optimal Placement of Containers in Trains in Case of Cargo Operations Along the Route 184

Maxim M. ZHELEZNOV, Oleg I. KARASEV, Sergey S. TROSTYANSKY, Roman G. SMIRNOV
High-Speed Passenger Railway Transportation: Priority for Long-Term Development 202

Dmitry V. ENIN
Approaches to Determining the Regular Transit Route Duplication Level 220

HRM, EDUCATION & TRAINING

Alexandra F. SMYK, Tatyana M. TKACHEVA, Galina Yu. TIMOFEEVA
Experience of Using Online Technologies in Transport Education 238

Nadezhda V. GRUVER, Olga M. ZEMLINA, Regina K. NAZAROVA
Volunteering to Help People with Disabilities and Less Mobile People in Transport Higher Education Institutions 253

HISTORY WHEEL

Dmitry Yu. LEVIN
Gold Buckle of the Steel Belt of Russia. To the 120th Anniversary of the Circum-Baikal Railway 266

News from the Archives.
Savva I. Mamontov on the Railway Industry in Russia 276

BIBLIO-DIRECTIONS

Victor A. SHAROV
Decision-Making Optimisation in Traffic Control Management 282
Abstracts of D.Sc. and Ph.D. theses 289
New Books on Transport and Transportation 295

Published quarterly since 2003. Bimonthly since 2013.
92 issues have been published since 2003.
Current issues are circulated in 300 hard copies; the journal is distributed by subscription.
Each article in the journal consists of a Russian text and of an English text, fully identical in contents, both accompanied by abstracts, keywords, references and information about the authors.
The e-mail of the corresponding author is marked with ✉.
Information for the authors and editorial politics are available at the Web site https://mirtr.elpub.ru/jour.
The open accessed full texts of the articles as well as the abstracts and key information in English are available at the Web site of the Russian scientific electronic library at http://elibrary.ru (upon free registration) and the Web site of the journal at https://mirtr.elpub.ru/jour.
The journal is indexed in Russian scientific citation index system, Russian state library, Socionet, Ulrichsweb, Library of Congress, WorldCat.org.
Any reproduction in whole or in part on any medium or use of English translation of the articles contained herein is prohibited for commercial use without the prior written consent of World of Transport and Transportation.

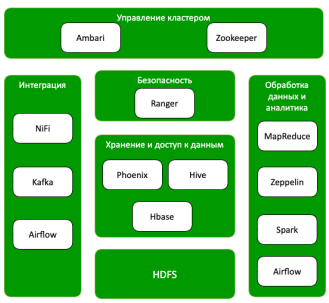
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ 6

Теоретические и практические исследования, способствующие развитию тяжеловесного движения. Прогнозирование контактно-усталостной долговечности рельсов: зависимости от величин осевых нагрузок.



ГОРОДСКИЕ РЕЛЬСОВЫЕ СИСТЕМЫ 18

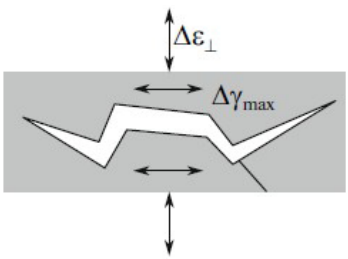
Архитектура интеллектуальной системы управления: теоретические выводы и практические последствия.



ВОПРОСЫ ТЕОРИИ • THEORY

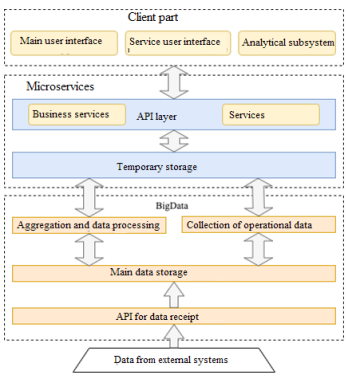
RAIL TRANSPORTATION 12

Theoretical and applied research that contributes to development of heavy haul traffic. Predicting contact fatigue life of rails: dependences on the values of axial loads.



URBAN RAIL TRANSPORT SYSTEMS 33

Architecture of intelligent control system: theoretical conclusions and practical follow-up.



УДК 625.143:620.178.3(045)
DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-1-06-17

К вопросу определения относительной контактно-усталостной повреждаемости поверхности катания рельсов



Валерий КОССОВ



Александр САВИН



Олег КРАСНОВ

Коссов Валерий Семёнович *— Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава, Коломна, Россия.*
Савин Александр Владимирович *— Российский университет транспорта, Москва, Россия.*
Краснов Олег Геннадьевич *— Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава, Коломна, Россия*.*

В связи с внедрением на многих железных дорогах, в том числе и российских, тяжеловесного движения остро встал вопрос оценки влияния повышенных осевых нагрузок на контактно-усталостную долговечность рельсов.

Для создания научно обоснованного метода прогнозирования контактно-усталостной долговечности рельсов в зависимости от величин осевых нагрузок проведён комплекс теоретических исследований, описание которого приведено в настоящей статье. На конечно-элементной модели прокатывания колеса по рельсу определено напряжённо-деформированное состояние зоны контакта. Установлено, что зона контакта при прокатывании колеса по рельсу испытывает сложное многоосное нагружение с одновременным действием нормальных и сдвиговых деформаций. На основании анализа моделей, описывающих многоосное усталостное повреждение, выбрана модель Брауна–Миллера, в которой учитывается одновременное действие нормальных деформаций на площадке контакта и максимальных сдвиговых деформаций, что наиболее полно описывает напряжённо-деформированное состояние зоны контакта при прокатывании колеса по рельсу. Для применения модели Брауна–Миллера установлены деформационные кривые усталости для рельсовой стали. По результатам анализа методов определения параметров деформационных кривых, выполненного В. А. Трощенко, был применён модифицированный метод твёрдости Расла–Фатеми. На основании экспериментально определённых значений твёрдости на поверхности катания расчётно-экспериментальным путём выявлены параметры кривых упругой и пластической усталости. Для установления повреждающего действия нагрузки от прокатывания колеса по рельсу принято понятие относительного повреждения за цикл прокатки – величины, обратной числу циклов до образования контактно-усталостной трещины при заданной величине осевой нагрузки.

При принятии усреднённых характеристик показателей степени усталостной прочности и пластичности рельсовой стали и расчётных напряжений в зоне контакта «колесо–рельс» с учётом пластической коррекции по Нейберу в программном комплексе Fatigue проведены расчёты относительной повреждаемости поверхности катания рельсов контактно-усталостными дефектами. Получена полиноминальная зависимость относительной повреждаемости поверхности катания рельсов. Установленная функциональная зависимость относительной повреждаемости поверхности катания рельсов от величин вертикальных сил является основой для разрабатываемой методики прогнозирования контактно-усталостной долговечности рельсов.

Ключевые слова: железная дорога, напряжённо-деформированное состояние, зона контакта колеса с рельсом, контактно-усталостная долговечность, многоосная усталость, параметры упругой и пластической усталости, относительная повреждаемость.

---

*Информация об авторах:
Коссов Валерий Семёнович – доктор технических наук, профессор, генеральный директор акционерного общества «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ»), Коломна, Россия, info@vnikti.com.
Савин Александр Владимирович – доктор технических наук, доцент, проректор Российского университета транспорта, Москва, Россия, ✉ a.v.savin@miit.ru.
Краснов Олег Геннадьевич – кандидат технических наук, заведующий отделом пути и специального подвижного состава АО «ВНИКТИ» (АО «ВНИКТИ»), Коломна, Россия, krasnov-og@vnikti.com.

Статья поступила в редакцию 12.01.2021, принята к публикации 26.02.2021.

For the English text of the article please see p. 12.

Внедрение тяжеловесного движения делает актуальным вопрос оценки влияния повышенных осевых нагрузок на контактно-усталостную долговечность рельсов. *Целью* исследования является создание научно обоснованного метода прогнозирования контактно-усталостной долговечности рельсов в зависимости от величин осевых нагрузок.

Характерной особенностью поверхности катания головки рельса является работа в упругопластической зоне, о чём свидетельствуют образование наклёпанного слоя на поверхности катания и расплющивание головки рельсов на внутренних нитках в кривых участках пути и в зонах сварных стыков [1–5]. Путём моделирования процесса прокатки колеса по поверхности рельса на конечно-элементной модели установлено, что компоненты тензора напряжений на поверхности рельса находятся в непропорциональном многоосном напряжённом состоянии, для описания которого, а также с целью прогнозирования разрушения необходимо использовать теорию многоосной усталости [6–9]. Накопление усталостных повреждений материала головки рельса происходит в результате многократно повторяющихся нагружений, вызываемых катящимся колесом.

Другая особенность контакта катящегося колеса по рельсу определяет необходимость сгущать сетку конечно-элементной модели, применяемой для расчёта напряжённо-деформированного состояния (НДС) [9]. В этом случае для установления контактно-усталостной повреждаемости принято использовать деформационный подход. Известно несколько деформационных моделей усталостного разрушения, которые обобщают классическое соотношение Коффина–Мэнсона. Для многоосного усталостного разрушения используются модели Брауна–Миллера, Фатеми–Соси и Смита–Ватсона–Топпера [10–13]. Механизмы разрушения, соответствующие этим моделям [14], представлены на рис. 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ

По результатам сравнения механизмов разрушения, соответствующих вышеперечисленным моделям, с учётом характерной особенности работы поверхности головки рельса в упругопластической зоне при многоосном циклическом нагружении, включающем деформации растяжения-сжатия, нормальные к площадке максимальных сдвиговых деформаций в зоне контакта колеса с рельсом, для расчёта контактно-усталостной долговечности рельсов выбрана модель Брауна–Миллера [11].

В ней случай многоосного усталостного разрушения описывается уравнением:

$$\varepsilon_a \cong \frac{\Delta\gamma_{\max}}{2} + \alpha_{bm}\Delta\varepsilon_{\perp} = \\ = \beta_1 \frac{\sigma'_f - 2\sigma_{\perp mean}}{E}(2N_p)^b + \beta_2\varepsilon'_f(2N_p)^c, \quad (1)$$

где ε_a – амплитуда полной деформации;

$\frac{\Delta\gamma_{\max}}{2}$ – амплитуда максимальных сдвиговых деформаций, достигаемых на некоторой площадке в зоне контакта;

α_{bm}, β_1, β_2 – коэффициенты, равные: $\alpha_{bm} = 0{,}3$; $\beta_1 = (1 + \nu) + (1 - \nu)\,\alpha_{bm}$; $\beta_2 = 1{,}5 + 0{,}5\alpha_{bm}$,
где ν – коэффициент Пуассона;

$\Delta\varepsilon_{\perp}$ – размах нормальных деформаций на этой площадке;

σ'_f, ε'_f – коэффициенты упругой и пластической усталостной прочности;

$\sigma_{\perp mean}$ – среднее за цикл нормальное напряжение на этой площадке;

E – модуль Юнга для рельсовой стали;

N_p – число циклов до разрушения;

b – экспонента усталостной прочности (Басквина);

c – экспонента усталостной пластичности (Коффина–Мэнсона).

Деформационные подходы, основанные на учёте как упругой, так и пластической со-

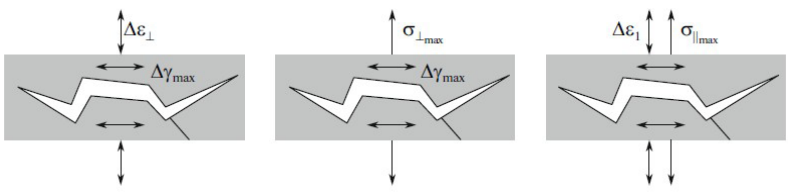


Рис. 1. Механизмы разрушения, соответствующие моделям Брауна–Миллера (а), Фатеми–Соси (б), Смита–Ватсона–Топпера (в) [14].

ставляющей деформации, подходят для исследования усталости материала на поверхности катания рельсов. При этом процесс взаимодействия колеса с рельсом условно может быть разделён на две составляющие. Для начального периода характерно пластическое течение металла, приводящее его к зоне приспосабливаемости. После достижения зоны приспосабливаемости пластическое деформирование практически прекращается, и материал работает в упругой зоне.

Относительная повреждаемость головки рельса определялась на основе расчётных компонент тензора напряжений, модели Брауна–Миллера и многоосной пластической коррекции по Нейберу на циклическую диаграмму деформирования [15]. Расчёты проводились при вероятности неразрушения 95 %.

С целью определения контактно-усталостной повреждаемости для случая упругопластического деформирования предложено использовать деформационный подход. Деформационная кривая усталости представляет собой зависимость амплитуды полной деформации от числа полуциклов до разрушения. Зависимость амплитуды деформации от числа циклов до зарождения усталостной трещины (усталостного разрушения) имеет вид [10]:

$$\varepsilon_a = \frac{\sigma'_f}{E}(N_p)^b + \varepsilon'_f(N_p)^c. \quad (2)$$

Уравнение (2) получило название уравнения Басквина–Коффина–Мэнсона [15].

В выражении (2) при циклическом нагружении амплитуда полной деформации ε_a может быть представлена как сумма амплитуд упругой (ε_{ae}) и пластической (ε_{ap}) составляющих деформации:

$$\varepsilon_{ae} = \frac{\sigma'_f}{E}(N_p)^b; \quad (3)$$

$$\varepsilon_{ap} = \varepsilon'_f(N_p)^c. \quad (4)$$

Важной характеристикой свойств материала при циклическом нагружении является кривая циклического деформирования, описывающая зависимость амплитуды напряжения от амплитуды деформации при циклическом нагружении, так называемая диаграмма Рамберга–Осгуда [17]:

$$\varepsilon_a = \varepsilon_{ae} + \varepsilon_{ap} = \frac{\sigma_a}{E} + \left(\frac{\sigma_a}{K'}\right)^{1/n'}, \quad (5)$$

где K' – коэффициент циклической прочности;

n' – коэффициент циклического деформационного упрочнения.

Как показывают данные источников [16; 17], между параметрами уравнений (3)–(5) имеют место следующие зависимости, которые, несмотря на хорошее качественное соответствие с экспериментальными результатами, могут найти практическое использование только в случае правильного выбора входящих в них параметров:

$$\sigma'_f = K'(\varepsilon'_f)^{n'}; \quad (6)$$

$$n' = b / c. \quad (7)$$

Эмпирические параметры σ'_f, ε'_f, b, c в уравнении (1) являются основой для построения кривых упругой и пластической усталости в координатах $\lg \varepsilon_a - \lg N_p$ и могут быть найдены с использованием характеристик механических свойств металлов и сплавов. При этом важно установить корреляционную зависимость между указанными параметрами и характеристиками прочности и пластичности рельсовой стали при циклическом нагружении.

В литературе предложено много различных методов оценки параметров уравнения Басквина–Коффина–Мэнсона (2) [17; 18]. В работе В. А. Трощенко [18] проанализированы методы определения оценочных значений параметров σ'_f, ε'_f, b, c уравнения Басквина–Коффина–Мэнсона и для сталей рекомендовано использовать модифицированный метод твёрдости Расла–Фатеми. Определим величины коэффициентов усталостной пластичности ε'_f и упругой усталости σ'_f [18]:

$$\sigma'_f = 4,5HB + 225; \quad (8)$$

$$\varepsilon'_f = (0,32HB^2 - 487HB + 191000) / E, \quad (9)$$

где НВ – твёрдость рельсов на поверхности катания.

На площадке АО «ВНИКТИ» экспериментально определена твёрдость темплетов рельсов ДТ350 производства ЗАО «ЗСМК» и ПАО «ЧМК», объёмно-закалённых рельсов Т1 производства ЗАО «ЗСМК» [19] в соответствии с ГОСТ Р 51685-2013[1] (рис. 2).

Результаты измерения твёрдости объёмно-закалённых рельсов Т1, дифферен-

[1] ГОСТ Р 51685-2013. Рельсы железнодорожные. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2014. – 121 с.

цированно-термоупрочнённых рельсов ДТ350 представлены в табл. 1.

По данным о твёрдости рельсовых сталей, полученным специалистами АО «ВНИКТИ» (табл. 1), рассчитаны значения параметров σ'_f, ε'_f, b, c с использованием уравнения Басквина–Коффина–Мэнсона.

В модифицированном методе твёрдости Расла–Фатеми [18] коэффициенты наклона деформационных кривых усталости b и c считаются постоянными, и для сталей рекомендованы значения $b = -0{,}09$, $c = -0{,}56$.

Величины упругой ε_{ae}, пластической ε_{ap}, а также суммарной ε_a деформаций рассчитаны от количества циклов до разрушения N_p при циклическом нагружении.

Амплитуда упругой деформации ε_{ae} от числа циклов до разрушения определялась согласно выражению (3), амплитуда пластической деформации ε_{ap} от числа циклов – в соответствии с выражением (4).

Суммарная деформация от числа циклов до зарождения усталостной трещины определялась как сумма упругой и пластической деформаций. Результаты расчёта упругой, пластической и суммарной деформаций от числа циклов N_p представлены в табл. 2.



Рис. 2. Темплет рельса с вмятинами от шарика по методу Бринелля для определения твёрдости по поперечному сечению рельса [19].

Для удобства представления деформационных кривых усталости для рельсовых сталей расчётные данные ε_{ap}, ε_{ae}, ε_a для разных N_p пересчитаны для системы координат $\lg \varepsilon_a - \lg N_p$. Результаты расчёта представлены в табл. 3.

На рис. 3 в логарифмических координатах схематически представлены деформационные кривые усталости в соответствии с выражениями (2)–(4). Эмпирические параметры σ'_f, ε'_f, b, c в уравнении (2), которые являются основой для построения

Таблица 1

Результаты измерения твёрдости объёмно-закалённых рельсов Т1 и дифференцированно-термоупрочнённых рельсов ДТ350 (составлено авторами)

Элемент	Категория рельса		
	Т1	ДТ350 (ПАО «ЧМК»)	ДТ350 (АО «Евраз ЗСМК»)
Головка рельса	363; 363; 363; 363; 363; 363; 363; 352; 352; 352; 352; 363; 363; 363; 363; 341; 341; 363; 363; 363; 363; 363	363; 363; 363; 363; 363; 363; 363; 352; 352; 352; 352; 363; 363; 352; 352; 341; 341; 352; 352; 341; 341; 341	373; 371; 369; 369; 359; 369; 363; 362; 363; 353; 353; 353; 352; 352; 362; 347; 345; 348; 341; 341; 342
Шейка рельса	352; 341	302; 302	307; 362
Подошва рельса	341; 341; 341	302; 302; 302	306; 306; 306

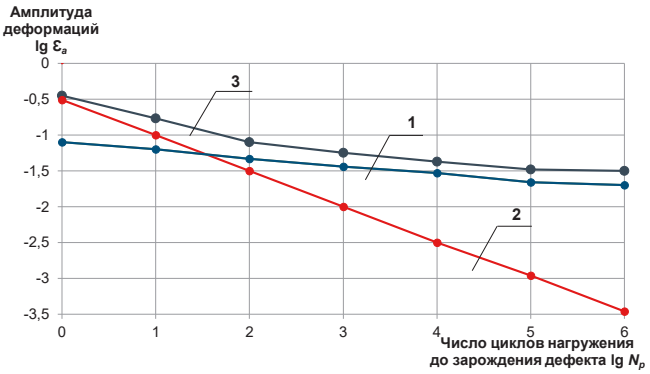


Рис. 3. Деформационные кривые усталости для рельсовой стали: 1 – деформационная кривая упругой усталости; 2 – деформационная кривая пластической усталости; 3 – деформационная суммарная кривая усталости (выполнено авторами).

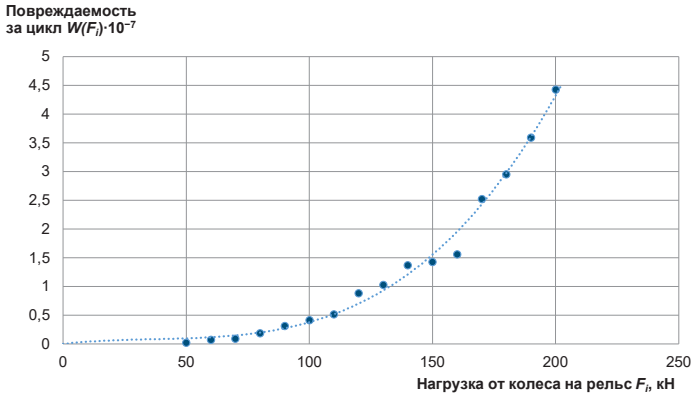


Рис. 4. Относительная повреждаемость за один цикл проката колеса над исследуемой зоной при разных нагрузках от колеса (выполнено авторами).

Таблица 2

Расчётные значения упругих, пластических и суммарных деформаций кривых для рельсовой стали (НВ = 360) (составлено авторами)

№ п/п	N_p	$\varepsilon_{ac} = \frac{\sigma_f}{E}(N_p)^b$	$\varepsilon_{ap} = \varepsilon'_f(N_p)^c$	$\varepsilon_a = \varepsilon_{ac} + \varepsilon_{ap}$
1	0	0,083600	0,272000	0,355600
2	10	0,068000	0,075000	0,143000
3	10^2	0,059000	0,020600	0,079600
4	10^3	0,048000	0,005600	0,053600
5	10^4	0,039000	0,001560	0,040560
6	10^5	0,032000	0,000430	0,032430
7	10^6	0,026000	0,000118	0,026118
8	10^7	0,020000	0,000033	0,020033
9	10^8	0,016000	0,000009	0,016009

Таблица 3

Значения параметров деформационных кривых усталости рельсовой стали НВ = 360 в логарифмических координатах lg εa – lg Np (составлено авторами)

№ п/п	lg N_p	lg ε_{ac}	lg ε_{ap}	lg ε_a
1	0	-1,0700	-0,5650	-0,4490
2	1	-1,1600	-1,1250	-0,8400
3	2	-1,2300	-1,6860	-1,0240
4	3	-1,3700	-2,2500	-1,2680
5	4	-1,4100	-2,8100	-1,3979
6	5	-1,4900	-3,3700	-1,4890
7	6	-1,5800	-3,9300	-1,5830
8	7	-1,7000	-4,4300	-1,6980
9	8	-1,7900	-5,0400	-1,7950

кривых усталости в координатах $\lg \varepsilon_a - \lg N_p$, найдены с использованием характеристик механических свойств рельсовой стали. В зависимости от технологии изготовления и обработки рельса эти параметры могут отличаться от полученных.

Для определения повреждающего действия нагрузки от прокатывания колеса по рельсу принято понятие относительного повреждения за цикл прокатки. Относительная повреждаемость – величина, обратная числу циклов до образования контактно-усталостной трещины при заданной величине осевой нагрузки. Максимальные относительные повреждения в рельсе при разных значениях вертикальной нагрузки на колесо показаны на рис. 4.

Выполненная аппроксимация точек относительной повреждаемости рельсов при прокатывании колеса с разной величиной нагрузки позволила получить теоретическую зависимость от вертикальной силы в виде полинома:

$$W(F_i) = 9{,}15 \cdot 10^{-7} F_i^3 - 7{,}65 \cdot 10^{-5} F_i^2 + 0{,}00289 F_i, \quad (10)$$

где F_i – вертикальная сила, действующая на рельс от прокатки вагонного колеса при разной колёсной нагрузке, кН.

Полученные результаты относительной повреждаемости при прокатывании колеса по поверхности катания рельса в зависимости от величин вертикальных сил являлись основой для проведения расчётов по контактно-усталостной долговечности рельсов.

ВЫВОДЫ

1. С учётом характерной особенности работы поверхности катания рельса в упругопластической зоне при многоосном циклическом нагружении для расчёта контактно-усталостной долговечности рельсов выбрана модель усталостного разрушения Брауна–Миллера.

2. Проведён расчёт параметров деформационных кривых усталости для рельсовых сталей с применением модифицированного метода твёрдости Расла–Фатеми. Определены эмпирические параметры кривых упругой пластической усталости: $\sigma'_f = 1845$, $\varepsilon'_f = 0{,}272$, $b = -0{,}09$, $c = -0{,}56$.

3. Построены кривые упругой, пластической и суммарной усталости для рельсовой стали от числа циклов до разрушения. При принятии усреднённых характеристик показателей степени усталостной прочности и пластичности рельсовой стали и расчётных напряжений в зоне контакта «колесо–рельс» с учётом пластической коррекции по Нейберу в программном комплексе Fatigue проведены расчёты относительной повреждаемости поверхности катания рельсов контактно-усталостными дефектами. Получена полиномиальная зависимость относительной повреждаемости поверхности катания рельсов. Установленная функциональная зависимость относительной повреждаемости поверхности катания рельсов от величин вертикальных сил является основой для проведения расчётов по контактно-усталостной долговечности рельсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Громов В. Е., Иванов Ю. Ф., Морозов К. В., Перегудов О. А., Попова Н. А., Никоненко Е. Л. Механизмы упрочнения рельсов при длительной эксплуатации // Проблемы чёрной металлургии и материаловедения. – 2015. – № 4. – С. 98–104. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25017048. Доступ 12.01.2021.

2. Громов В. Е., Иванов Ю. Ф., Морозов К. В., Перегудов О. А., Алсараева К. В., Попова Н. А., Никоненко Е. Л. Изменение структуры и свойств поверхностных слоёв головки рельсов после длительной эксплуатации // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2015. – Т. 12. – № 2. – С. 203–208. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23613452. Доступ 12.01.2021.

3. Добужская А. Б., Галицын Г. А., Сырейщикова В. И. Исследование структуры рельсов с разной стойкостью к образованию контактно-усталостных дефектов // Влияние свойств металлической матрицы на эксплуатационную стойкость рельсов: Сб. науч. тр. ОАО «УИМ». – Екатеринбург. – 2006. – С. 64–81.

4. Марков Д. П. Контактная усталость колёс и рельсов // Вестник ВНИИЖТ. – 2001. – № 6. – С. 8–14.

5. Ахметзянов М. Х. О механизме развития контактно-усталостных повреждений в рельсах // Вестник ВНИИЖТ. – 2003. – № 2. – С. 41–45.

6. Коссов В. С., Краснов О. Г., Акашев М. Г. Влияние смятия в зоне сварных стыков на силовое воздействие подвижного состава на путь // Вестник ВНИИЖТ. – 2020. – Т. 79. – № 1. – С. 35–43. [Электронный ресурс]: https://www.journal-vniizht.ru/jour/article/download/382/293. Доступ 12.01.2021.

7. Коссов В. С., Волохов Г. М., Краснов О. Г., Овечников М. Н., Протопопов А. Л., Огуенко В. В. Влияние величины осевых нагрузок на контактно-усталостную прочность рельсов // Вестник ВНИИЖТ. – 2018. – Т. 77. – № 3. – С. 149–156. [Электронный ресурс]: https://www.journal-vniizht.ru/jour/article/view/182. Доступ 12.01.2021.

8. Meggiolaro, M. A., Pinho de Castro, J. T., Hao Wu. Invariant-based and Critical-plane Rainflow Approaches for Fatigue Life Prediction Under Multiaxial Variable Amplitude Loading. 3rd International Conference on Material and Component Performance under Variable Amplitude Loading (VAL 2015), Prague, March 23–26, 2015. Procedia Engineering, Vol. 101, pp. 69–76.

9. Сакало А. В. Математическое моделирование контактных напряжений фрагментов на упругом основании с использованием конечно-элементных моделей // Дис... на соиск. уч. степ. канд. техн. наук / Брянский государственный технический университет. – Брянск, 2009. – 143 с.

10. Manson, S. S. Fatigue: A complex subject – some simple approximation. Experimental Mechanics, 1965, Vol. 5, pp. 193–226.

11. Brown, M., Miller, K. J. Theory for fatigue under multiaxial stress-strain conditions. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 1973, Vol. 187, Iss. 65, pp. 745–756.

12. Shamsaei, N., Fatemi, A., Socie, D. F. Multiaxial fatigue evaluation using discriminating strain paths. International Journal of Fatigue, 2011, Vol. 33, Iss. 4, pp. 597–609. DOI:10.1016/j.ijfatigue.2010.11.002.

13. Smith, R. N., Watson, P., Topper, T. H. A stress-strain parameter for the fatigue of metals. Journal of Materials Science, 1970, Vol. 5, No. 4, pp. 767–778.

14. Горохов В. А. Численное моделирование упругопластического моделирования конструкций из нержавеющих сталей и графитов при квазистатическом терморадиационном нагружении // Дис... канд. физ.-мат. наук. – Нижний Новгород, 2007. – 113 с. [Электронный ресурс]: http://www.unn.ru/pages/disser/209.pdf. Доступ 12.01.2021.

15. Коссов В. С., Краснов О. Г., Огуенко В. Н. Повышение надёжности рельсов при эксплуатации в условиях низких температур // Труды XVI междунар. науч.-техн. конф. (чтений памяти проф. Г. М. Шахунянца) «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути». Секция 2. Железнодорожный путь для высокоскоростного движения и высоких осевых нагрузок. – М., 2019. – С. 82–87.

16. Коллинз Дж. Повреждение материалов в конструкциях. Анализ, предсказания, предотвращения / Пер. с англ. – Мир, 1984. – 624 с.

17. Ramberg, W., Osgood, W. R. Description of Stress-Strain Curves by Three Parameters. National Advisory Committee for Aeronautics, Technical Note No. 902, 1943. [Электронный ресурс]: http://www.apesolutions.com/spd/public/NACA-TN902.pdf. Доступ 12.01.2021.

18. Бураго Н. Г., Журавлев А. Б., Никитин И. С. Модели многоосного усталостного разрушения и оценка долговечности элементов конструкций // Известия РАН. Механика твёрдого тела. – 2011. – № 6. – С. 22–33. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17232791. Доступ 12.01.2021.

19. Трощенко В. Т., Хамаза Л. А. Деформационные кривые усталости сталей и методы определения их параметров // Проблемы прочности. – 2010. – № 6. – С. 26–39.

DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-1-06-17

On the Issue of Determining Relative Rail Rolling Contact Fatigue Damageability





Valery S. KOSSOV **Alexander V. SAVIN** **Oleg G. KRASNOV**

Kossov, Valery S., *Research and Design Technological Institute of Rolling Stock (JSC VNIKTI), Kolomna, Russia.*
Savin, Alexander V., *Russian University of Transport, Moscow, Russia.*
Krasnov, Oleg G., *Research and Design Technological Institute of Rolling Stock (JSC VNIKTI), Kolomna, Russia*.*

ABSTRACT

Adoption of heavy haul traffic on many railroads, comprising Russian railways, has highlighted the relevance of assessing the effect of increased axial loads on the contact fatigue life of rails.

The article describes a set of theoretical studies carried out to create a scientifically substantiated method for predicting the contact fatigue life of rails depending on the values of axial loads. The stress-strain state of the contact area has been determined using the finite element model of wheel rolling on a rail. It has been found that the wheel-rail rolling contact area undergoes complex multiaxial loading with the simultaneous action of normal and shear strains. Based on the analysis of models describing multiaxial fatigue damage, the Brown–Miller model was chosen, which considers the simultaneous action of normal strains at the contact area and of maximum shear strains, which most fully describes the stress-strain state of the wheel-rail rolling contact area. To apply the Brown–Miller model, fatigue stress-strain curves for rail steel have been identified. Based on the analysis of methods for determining the parameters of stress-strain curves carried out by V. A. Troschenko, a modified Roessle–Fatemi hardness method has been applied. Based on the experimentally determined values of hardness on the rolling surface, the parameters of the curves of elastic and plastic fatigue have been revealed by calculation and experiment. To establish the damaging effect of the load from wheel rolling on a rail, the concept of relative damage per rolling cycle had been assumed which is the value inverse to the number of cycles preceding formation of a contact-fatigue crack at a given value of the axial load.

Calculations of the relative damage rate of the rolling surface of rails caused by contact fatigue defects were carried out with the Fatigue software package considering mean values of the indicators of the degree of fatigue strength and plasticity of rail steel and the calculated stresses in the wheel-rail contact area, as well as the plasticity correction using Neuber method. The polynomial dependence of relative damageability of the rolling surface of rails is obtained. The established functional dependence of relative damageability of the rolling surface of rails on the values of vertical forces can be used as the basis for the developed methodology for predicting the contact fatigue life of rails.

Keywords: railway, stress-strain state, wheel-rail contact area, contact fatigue life, multiaxial fatigue, parameters of elastic and plastic fatigue, relative damageability.

*Information about the authors:
Kossov, Valery S. – D.Sc. (Eng), Professor, General Director of JSC Research and Design Technological Institute of Rolling Stock (JSC VNIKTI), Kolomna, Russia, info@vnikti.com.
Savin, Alexander V. – D. Sc. (Eng), Associate Professor, Vice-Rector of Russian University of Transport, Moscow, Russia, ✉ a.v.savin@miit.ru.
Krasnov, Oleg G. – Ph.D. (Eng), Head of the Department of Track and Special Rolling Stock of JSC Research and Design Technological Institute of Rolling Stock (JSC VNIKTI), Kolomna, Russia, krasnov-og@vnikti.com.

Article received 12.01.2021, accepted 26.02.2021.

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

BACKGROUND

The adoption of heavy haul traffic highlights the relevance of the issue of assessing the effect of increased axial loads on the contact fatigue life of rails. The *objective* of the research has been to create a scientifically substantiated method for predicting the contact fatigue life of rails depending on the values of axial loads.

A feature of the rolling surface of the rail head is that it works in the elastoplastic area, as evidenced by formation of a cold-worked layer on the rolling surface and flattening of the rail head on inner rails in curved track sections and in the areas of welded joints [1–5]. By simulating the process of wheel rolling on a rail surface with a finite element model, it was found that the components of the stress tensor on the rail surface are in a disproportionate multiaxial stress state. To describe that state, and to predict rail fracture, it is necessary to use the theory of multiaxial fatigue [6–9]. The accumulation of fatigue damage to the rail head material occurs due to repetitive loading caused by a rolling wheel.

Another feature of the contact of the rolling wheel with the rail determines the need to thicken the mesh of the finite element model used to calculate the stress-strain state (SSS) [9]. In this case, it is commonly practiced applying the deformation approach to establish contact fatigue damage. Several stress-strain fatigue failure models are known, which generalise the classical Coffin–Manson relation. For multiaxial fatigue fracture, the Brown–Miller, Fatemi–Socie, and Smith–Watson–Topper models are used [10–13]. Fracture mechanisms corresponding to these models [14] are shown in Pic. 1.

RESULTS

Based on the results of a comparison of the fracture mechanisms corresponding to the above models and considering the features of operation of the rail head surface in the elastoplastic area under multiaxial cyclic loading, including tensile-compression deformations normal to the area of maximum shear strains in the wheel-rail contact area, the Brown–Miller model [11] was chosen to calculate the contact-fatigue durability of rails.

It describes the case of multiaxial fatigue failure by the equation:

$$\varepsilon_a \cong \frac{\Delta\gamma_{\max}}{2} + \alpha_{bm}\Delta\varepsilon_{\perp} = \\ = \beta_1 \frac{\sigma'_f - 2\sigma_{\perp mean}}{E}(2N_p)^b + \beta_2\varepsilon'_f(2N_p)^c, \quad (1)$$

where ε_a is total deformation amplitude;

$\frac{\Delta\gamma_{\max}}{2}$ is amplitude of the maximum shear strain achieved at a certain site in the contact area;

α_{bm}, β_1, β_2 are coefficients equal to:

$\alpha_{bm} = 0{,}3$; $\beta_1 = (1 + \nu) + (1 - \nu)\,\alpha_{bm}$; $\beta_2 = 1{,}5 + 0{,}5\alpha_{bm}$,

where ν is Poisson's ratio;

$\Delta\varepsilon_{\perp}$ is the range of normal strains at this site;

σ'_f, ε'_f are coefficients of elastic and plastic fatigue strength;

$\sigma_{\perp mean}$ is average (mean) normal stress per cycle at this site;

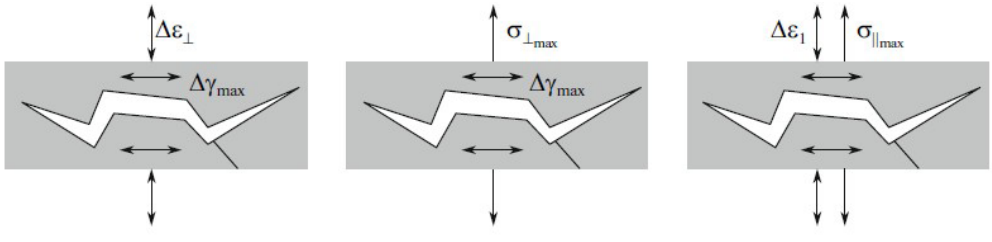
E is Young's modulus for rail steel;

N_p is number of cycles before failure;

b is exponent of fatigue strength (Basquin stress–life relation);

c is exponent of fatigue plasticity (Coffin–Manson).

Deformation approaches based on considering both elastic and plastic components of deformation are suitable for studying material fatigue on the rolling surface of rails. In this case, the process of interaction of a wheel with a rail can be conditionally divided into two components. The initial period is



Pic. 1. Fracture mechanisms corresponding to the Brown–Miller (a), Fatemi–Socie (b), Smith–Watson–Topper models (c) [14].



Pic. 2. The template of the rail with indents from the indenters (balls) following Brinell test for determining hardness along the cross-section of the rail [19].

characterised by a plastic flow of metal, which leads it to the area of adaptability. After reaching the area of adaptability, plastic deformation practically stops, and the material works in the elastic area.

The relative damageability of the rail head was determined based on the calculated components of the stress tensor, the Brown–Miller model, and multiaxial plastic correction according to Neuber method for the cyclic deformation diagram [15]. The calculations were carried out with a probability of non-destruction of 95 %.

To determine the contact fatigue damageability for the case of elastoplastic deformation, it is proposed to use the deformation approach. The fatigue stress-strain curve is the dependence of the total deformation amplitude on the number of half-cycles before failure. The dependence of the deformation amplitude on the number of cycles until the initiation of a fatigue crack (fatigue failure) has the form [10]:

$$\varepsilon_a = \frac{\sigma'_f}{E}(N_p)^b + \varepsilon'_f(N_p)^c. \quad (2)$$

Equation (2) is called the Basquin–Coffin–Manson equation [15].

In expression (2) under cyclic loading, the amplitude of the total deformation ε_a can be represented as the sum of the amplitudes of the elastic (ε_{ae}) and plastic (ε_{ap}) components of the deformation:

$$\varepsilon_{ae} = \frac{\sigma'_f}{E}(N_p)^b; \quad (3)$$

$$\varepsilon_{ap} = \varepsilon'_f(N_p)^c. \quad (4)$$

An important characteristic of material properties under cyclic loading is the cyclic deformation curve describing the dependence of the stress amplitude on the deformation amplitude under cyclic loading, the so-called Ramberg–Osgood diagram [17]:

$$\varepsilon_a = \varepsilon_{ae} + \varepsilon_{ap} = \frac{\sigma_a}{E} + \left(\frac{\sigma_a}{K'}\right)^{1/n'}, \quad (5)$$

where *K'* is cyclic strength coefficient;

n' is coefficient of cyclic strain hardening.

As the data from sources [16; 17] show, the following dependences exist between the parameters of equations (3)–(5), which, despite a good qualitative agreement with the experimental results, can find practical use only in the case of the correct choice of the parameters included in them:

$$\sigma'_f = K'(\varepsilon'_f)^{n'}; \quad (6)$$

$$n' = b/c. \quad (7)$$

The empirical parameters σ'_f, ε'_f, b, c in equation (1) are the basis for plotting elastic and plastic fatigue curves in the coordinates lg ε_a – lg N_p and can be found using the characteristics of the mechanical properties of metals and alloys. Besides, it is important to identify the correlation between the specified parameters and the characteristics of strength and ductility of rail steel under cyclic loading.

The research papers have proposed many different methods for estimating the parameters of the Basquin–Coffin–Manson equation (2) [17; 18]. The work of V. A. Troschenko [18] analysed the methods for determining the estimated values of the parameters σ'_f, ε'_f, b, c of the Basquin–Coffin–Manson equation, and it was recommended to use the modified Roessle–Fatemi hardness method for steels. Let us determine the values of the coefficients of fatigue plasticity ε'_f and elastic fatigue σ'_f [18]:

$$\sigma'_f = 4,5HB + 225; \quad (8)$$

$$\varepsilon'_f = (0,32HB^2 - 487HB + 191000)/E, \quad (9)$$

where HB is hardness of rails on the rolling surface.

The hardness of templates of DT350 rails manufactured by ZSMK CJSC [EVRAZ Western Siberian Steel Mill Close Joint-Stock Company] and ChMK PJSC [Chelyabinsk Metallurgical Plant Public Joint-Stock Company], volume-hardened T1 rails manufactured by CJSC ZSMK [19] was experimentally determined in accordance with GOST [State Standard] R 51685-2013[1] (Pic. 2) At the site of JSC VNIKTI.

[1] GOST R 51685-2013. Railway rails. General technical conditions. Moscow, Standartinform publ., 2014, 121 p.

Table 1

Results of hardness measurement of T1 volume-hardened rails and of DT350 differentially heat-treated rails

Element	Rail category		
	T1	DT350 (PJSC ChMK)	DT350 (JSC EVRAZ ZSMK)
Rail head	363; 363; 363; 363; 363; 363; 363; 352; 352; 352; 352; 363; 363; 363; 363; 341; 341; 363; 363; 363; 363; 363	363; 363; 363; 363; 363; 363; 363; 352; 352; 352; 352; 363; 363; 352; 352; 341; 341; 352; 352; 341; 341; 341	373; 371; 369; 369; 359; 369; 363; 362; 363; 353; 353; 353; 352; 352; 362; 347; 345; 348; 341; 341; 342
Rail web	352; 341	302; 302	307; 362
Rail foot	341; 341; 341	302; 302; 302	306; 306; 306

Table 2

Calculated values of elastic, plastic, and total deformations of curves for rail steel (HB = 360) (compiled by the authors)

No.	N_p	$\varepsilon_{ac} = \frac{\sigma_f}{E}(N_p)^b$	$\varepsilon_{ap} = \varepsilon'_f(N_p)^c$	$\varepsilon_a = \varepsilon_{ac} + \varepsilon_{ap}$
1	0	0,083600	0,272000	0,355600
2	10	0,068000	0,075000	0,143000
3	10^2	0,059000	0,020600	0,079600
4	10^3	0,048000	0,005600	0,053600
5	10^4	0,039000	0,001560	0,040560
6	10^5	0,032000	0,000430	0,032430
7	10^6	0,026000	0,000118	0,026118
8	10^7	0,020000	0,000033	0,020033
9	10^8	0,016000	0,000009	0,016009

Table 3

Values of parameters of stress-strain fatigue curves of rail steel HB = 360 in logarithmic coordinates lg ε_a – lg N_p (compiled by the authors)

No.	lg N_p	lg ε_{ac}	lg ε_{ap}	lg ε_a
1	0	-1,0700	-0,5650	-0,4490
2	1	-1,1600	-1,1250	-0,8400
3	2	-1,2300	-1,6860	-1,0240
4	3	-1,3700	-2,2500	-1,2680
5	4	-1,4100	-2,8100	-1,3979
6	5	-1,4900	-3,3700	-1,4890
7	6	-1,5800	-3,9300	-1,5830
8	7	-1,7000	-4,4300	-1,6980
9	8	-1,7900	-5,0400	-1,7950

The results of measuring hardness of T1 volume-hardened rails, DT350 differentially heat-strengthened (heat-treated) rails are presented in Table 1.

According to the data on hardness of rail steels obtained by the specialists of JSC VNIKTI (Table 1), the values of the parameters σ'_f, ε'_f, b, c were calculated using the Basquin–Coffin–Manson equation.

In the modified Roessle–Fatemi hardness method [18], the slope coefficients of stress-strain fatigue curves b and c are considered constant, and the values b = -0,09, c = -0,56 are recommended for steels.

The values of elastic ε_{ac}, plastic ε_{ap}, and total ε_a deformations were calculated from the number of cycles until fracture N_p under cyclic loading.

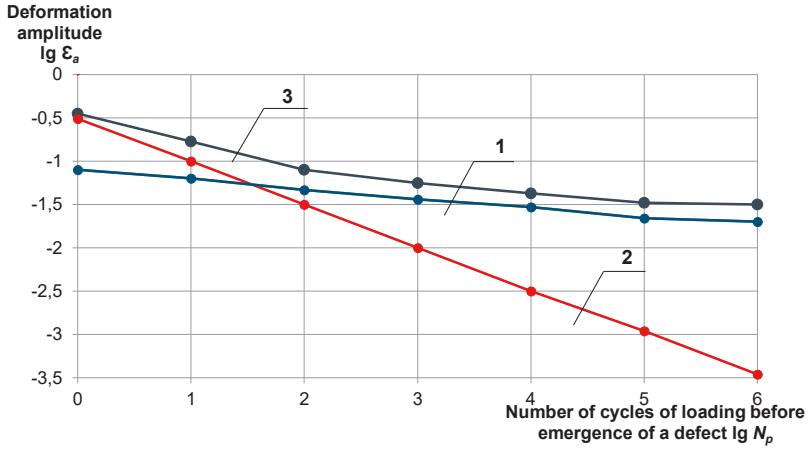
The amplitude of elastic deformation ε_{ac} from the number of cycles until fracture was determined according to expression (3), the amplitude of plastic deformation ε_{ap} depending on the number of cycles was determined in accordance with expression (4).

The total deformation from the number of cycles to the initiation of a fatigue crack was determined as the sum of elastic and plastic deformations. The results of calculating the elastic, plastic, and total deformations depending on the number of cycles N_p are presented in Table 2.

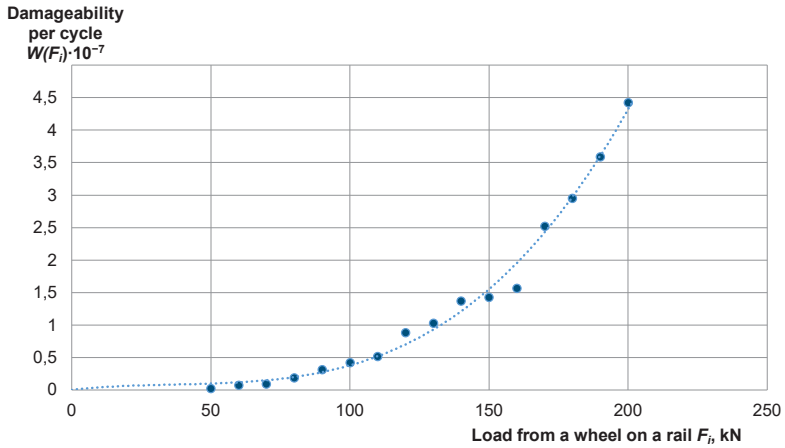
For the convenience of representing stress-strain fatigue curves for rail steels, the calculated data ε_{ap}, ε_{ac}, ε_a for different N_p are recalculated for the coordinate system lg ε_a – lg N_p. The calculation results are presented in Table 3.

Pic. 3 schematically shows stress-strain fatigue curves in logarithmic coordinates in accordance with expressions (2)–(4). The empirical parameters σ'_f, ε'_f, b, c in equation (2), which are the basis for constructing fatigue curves in coordinates lg ε_a – lg N_p, have been found using the characteristics of the mechanical properties of rail steel. Depending on the technology of manufacturing and processing of the rail, these parameters may differ from those obtained.

To determine the damaging effect of the load from wheel rolling on a rail, the concept of relative damage per rolling cycle is assumed. Relative damage is the reciprocal of the number



Pic. 3. Deformation fatigue curves for rail steel: 1 – deformation curve of elastic fatigue; 2 – deformation curve of plastic fatigue; 3 – total deformation curve of fatigue (compiled by the authors).



Pic. 4. Relative damageability per a cycle of wheel rolling over the examined area at different loads produced by the wheel (compiled by the authors).

of cycles before formation of a contact fatigue crack at a given value of the axial load. The maximum relative damage in the rail at different values of the vertical load on the wheel is shown in Pic. 4.

The performed approximation of the points of relative damageability to rails caused by wheel rolling with different load values has made it possible to obtain a theoretical dependence on the vertical force in the form of a polynomial:

$$W(F_i) = 9{,}15 \cdot 10^{-7} F_i^3 - 7{,}65 \cdot 10^{-5} F_i^2 + 0{,}00289 F_i, \quad (10)$$

where F_i is vertical force acting on the rail from wagons' wheel rolling with different wheel loads, kN.

The obtained results of relative damageability caused by wheel rolling over the rolling surface of a rail, depending on the values of vertical forces, have been the basis for calculating the contact fatigue life of rails.

CONCLUSIONS

1. Considering the features of the operation of the rail rolling surface in the elastoplastic area under multiaxial cyclic loading, the Brown–Miller fatigue fracture model was selected to calculate the contact fatigue life of rails.

2. The calculation of the parameters of stress-strain fatigue curves for rail steels using the modified method of hardness of Roessle–Fatemi has been made. The empirical parameters of the elastoplastic fatigue curves have been determined: $\sigma'_f = 1845$, $\varepsilon'_f = 0{,}272$, $b = -0{,}09$, $c = -0{,}56$.

3. Elastic, plastic, and total fatigue curves for rail steel from the number of cycles until failure have been plotted. Considering the averaged characteristics of the indicators of the degree of fatigue strength and plasticity of rail steel and the calculated stresses in the wheel–rail contact area, and the Neuber plastic correction, calculations of relative damageability of the rolling surface of rails by contact fatigue defects have been carried out using the Fatigue software package. The polynomial dependence of relative damageability of the rolling surface of rails has been obtained. The found functional dependence of relative damageability of the rolling surface of rails on the values of vertical forces is considered as the basis for calculating the contact fatigue life of rails.

REFERENCES

1. Gromov, V. E., Ivanov, Yu. F., Morozov, K. V., Peregudov, O. A., Popova, N. A., Nikonenko, E. L. Mechanisms of rail hardening during long-term operation [*Mekhanizmy uprocheniya relsov pri dlitelnoi ekspluatatsii*]. *Problemy chernoi metallurgii i materialovedeniya*, 2015, Iss. 4, pp. 98–104. [Electronic resource]: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25017048. Last accessed 12.01.2021.

2. Gromov, V. E., Ivanov, Yu. F., Morozov, K. V., Peregudov, O. A., Alsaraeva, K. V., Popova, N. A., Nikonenko, E. L. Changes in the structure and properties of the surface layers of rail heads after long-term operation [*Izmenenie struktury i svoistv poverkhnostnykh sloev golovki relsov posle dlitelnoi ekspluatatsii*]. *Fundamentalnie problemy sovremennogo materialovedeniya*, 2015, Vol. 12, Iss. 2, pp. 203–208. [Electronic resource]: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23613452. Last accessed 12.01.2021.

3. Dobuzhskaya, A. B., Galitsyn, G. A., Syreishchikova, V. I. Study of the structure of rails with different resistance to formation of contact fatigue defects [*Issledovanie struktury relsov s raznoi stoikostyu k obrazovaniyu kontaktno-ustalostnykh defektov*]. In: Influence of the properties of a metal matrix on operational resistance of rails: Collection of scientific articles of JSC UIM, Yekaterinburg, 2006, pp. 64–81.

4. Markov, D. P. Contact fatigue of wheels and rails [*Kontaktnaya ustalost koles i relsov*]. *Vestnik VNIIZhT*, 2001, Iss. 6, pp. 8–14.

5. Akhmetzyanov, M. Kh. About the mechanism of development of contact fatigue damage in rails [*O mekhanizme razvitia kontaktno-ustalostnykh povrezhdenii v relsakh*]. *Vestnik VNIIZhT*, 2003, Iss. 2, pp. 41–45.

6. Kossov, V. S., Krasnov, O. G., Akashev, M. G. Influence of crushing in the area of welded joints on the force effect of rolling stock on the track [*Vliyanie smyatiya v zone svarnykh stykov na silovoe vozdeistvie podvizhnogo sostava na put'*]. *Vestnik VNIIZhT*, 2020, Vol. 79, Iss. 1, pp. 35–43. [Electronic resource]: https://www.journal-vniizht.ru/jour/article/download/382/293. Last accessed 12.01.2021.

7. Kossov, V. S., Volokhov, G. M., Krasnov, O. G., Ovechnikov, M. N., Protopopov, A. L., Oguyenko, V. V. Influence of the value of axial loads on the contact fatigue strength of rails [*Vliyanie velichiny osevykh nagruzok na kontaktno-ustalostnuyu prochnost' relsov*]. *Vestnik VNIIZhT*, 2018, Vol. 77, Iss. 3, pp. 149–156. [Electronic resource]: https://www.journal-vniizht.ru/jour/article/view/182. Last accessed 12.01.2021.

8. Meggiolaro, M. A., Pinho de Castro, J. T., Hao Wu. Invariant-based and Critical-plane Rainflow Approaches for Fatigue Life Prediction Under Multiaxial Variable Amplitude Loading. 3rd International Conference on Material and Component Performance under Variable Amplitude Loading (VAL 2015), Prague, March 23–26, 2015. *Procedia Engineering*, Vol. 101, pp. 69–76.

9. Sakalo, A. V. Mathematical modelling of contact stresses of fragments on an elastic foundation using finite element models. Ph.D. (Eng) thesis [*Matematicheskoe modelirovanie kontaktnykh napryazhenii fragmentov na uprugom osnovanii s ispolzovaniem konechno-elementnykh modelei. Dis... na soisk. uch. step. kand. tekh. nauk*]. Bryansk State Technical University, Bryansk, 2009, 143 p.

10. Manson, S. S. Fatigue: A complex subject – some simple approximation. *Experimental Mechanics*, 1965, Vol. 5, pp. 193–226.

11. Brown, M., Miller, K. J. Theory for fatigue under multiaxial stress-strain conditions. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 1973, Vol. 187, No. 65, pp. 745–756.

12. Shamsaei, N., Fatemi, A., Socie, D. F. Multiaxial fatigue evaluation using discriminating strain paths. *International Journal of Fatigue*, 2011, Vol. 33, No. 4, pp. 597–609. DOI: 10.1016/j.ijfatigue.2010.11.002.

13. Smith, R. N., Watson, P., Topper, T. H. A stress-strain parameter for the fatigue of metals. *Journal of Materials Science*, 1970, Vol. 5, No. 4, pp. 767–778.

14. Gorokhov, V. A. Numerical modelling of elastoplastic modeling of structures made of stainless steels and graphites under quasi-static thermo-radiation loading. Ph.D. (Physics and Mathematics) thesis [*Chislennoe modelirovanie uprugoplasticheskogo modelirovaniya konstruktsii iz nerzhaveyushchikh stalei i grafitov pri kvazistaticheskom termoradiatsionnom nagruzhenii. Dis... kand. fiz-mat nauk*]. Nizhny Novgorod, 2007, 113 p. [Electronic resource]: http://www.unn.ru/pages/disser/209.pdf. Last accessed 12.01.2021.

15. Kossov, V. S., Krasnov, O. G., Oguenko, V. N. Improving reliability of rails during operation at low temperatures [*Povyshenie nadezhnnosti relsov pri ekspluatatsii v usloviyakh nizkikh temperatur*]. *Proceedings of XVI International scientific and technical conference (readings in memory of prof. G. M. Shakhunyants) «Modern problems of design, construction and operation of a railway track». Section 2. Railway track for high speed traffic and high axle loads*. Moscow, 2019, pp. 82–87.

16. Collins, J. Failure of materials in mechanical design: analysis, prediction, prevention [Russian title: *Povrezhdenie materialov v konstruktsiyakh*]. Transl. from English. Mir publ., 1984, 624 p.

17. Ramberg, W., Osgood, W. R. Description of Stress-Strain Curves by Three Parameters. National Advisory Committee for Aeronautics, Technical Note No. 902, 1943. [Electronic resource]: http://www.apesolutions.com/spd/public/NACA-TN902.pdf. Last accessed 12.01.2021.

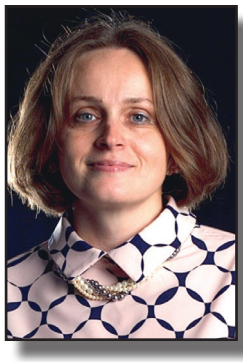
18. Burago, N. G., Zhuravlev, A. B., Nikitin, I. S. Models of multiaxial fatigue fracture and assessment of durability of structural elements [*Modeli mnogoosnogo ustalostnogo razrusheniya i otsenka dolgovechnosti elementov konstruktsii*]. *Izvestiya RAN. Rigid body mechanics*, 2011, Iss. 6, pp. 22–33. [Electronic resource]: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17232791. Last accessed 12.01.2021.

19. Troschenko, V. T., Khamaza, L. A. Deformation curves of fatigue of steels and methods for determining their parameters [*Deformatsionnie krivie ustalosti stalei i metody opredeleniya ikh parametrov*]. *Problemy prochnosti*, 2010, Iss. 6, pp. 26–39.

УДК 004.896:629.4.014
DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-1-18-46

Построение архитектуры интеллектуальной системы управления городской рельсовой транспортной системой



Виктор АЛЕКСЕЕВ **Леонид БАРАНОВ** **Максим КУЛАГИН** **Валентина СИДОРЕНКО**

Алексеев Виктор Михайлович *– Российский университет транспорта, Москва, Россия.*
Баранов Леонид Аврамович *– Российский университет транспорта, Москва, Россия.*
Кулагин Максим Алексеевич *– АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта», Москва, Россия.*
Сидоренко Валентина Геннадьевна *– Российский университет транспорта, Москва, Россия*.*

Рост объёма пассажирских перевозок в условиях крупных городских агломераций и мегаполисов эффективно обеспечивается объединением общественного транспорта и городских линий железных дорог. Управление движением в этих условиях требует создания интеллектуальных централизованных многоуровневых систем управления, реализующих заданные показатели качества, комфорта и безопасности перевозок пассажиров. Современные системы управления дополнительно решают задачи экономии энергии на тягу подвижного состава, являются фундаментом и составной частью систем цифровизации городского транспорта и города в целом. Построение систем, решающих задачи планирования и управления движением, реализуется с применением алгоритмов, использующих методы искусственного интеллекта, принципы иерархического построения централизованных систем, возможности технологии Big Data. В этих условиях необходимо учитывать возросшие требования не только к программному обеспечению, но и к теоретическим и практическим решениям организации сети.

В данной статье рассматриваются вопросы формирования архитектуры и требований к разрабатываемым приложениям и их интеграции с базами данных для создания централизованной интеллектуальной системы управления городской рельсовой транспортной системой (ЦИСУ ГРТС). В статье предлагаются оригинальные подходы к архитектуре сети, маршрутизации информационных потоков и программному обеспечению ЦИСУ ГРТС. В основе построения маршрутизации лежит использование полносвязной сети. Это позволяет значительно увеличить пропускную способность сети и выполнить требования по защите информации, так как информационные потоки формируются на базе однотипных протоколов, что препятствует образованию скрытых каналов передачи. Реализация ядра с использованием полносвязности позволяет по меткам информационных потоков заранее сформировать маршруты обмена информации между серверами и приложениями, развёрнутыми в ЦИСУ ГРТС. Использование шифрованных меток информационных потоков значительно усложняет проведение атак и организацию сбора информации о структуре сети.

Платформы для разработки интеллектуальных систем управления (ИСУ), к которым относится ЦИСУ ГРТС, огромные вычислительные мощности, хранилища данных и новые фреймворки становятся всё более доступными для учёных и разработчиков и позволяют быстро развиваться ИСУ. В статье рассматриваются вопросы взаимодействия приложений с базами данных на основе комбинации нескольких подходов, используемых в области Big Data, обосновывается сочетание методологии интернета вещей (IoT) и микросервисной архитектуры. Данная комбинация позволит выделить в системе бизнес-процессы и сформировать потоковую обработку данных, требующих оперативного анализа человеком, что доказывается соответствующими примерами.

Таким образом, целью статьи является формализация принципов организации информационного обмена ЦИСУ ГРТС и автоматизированных систем управления (АСУ) железнодорожных компаний (в нашем случае – на примере ОАО «РЖД»), организаций, предоставляющих услуги ГРТС, и городских органов управления, реализация сформулированных принципов в архитектуре ЦИСУ ГРТС и формализация принципов организации микросервисной архитектуры программного обеспечения ЦИСУ ГРТС. Основными методами исследования являются теория графов, методы Big Data, IoT.

Ключевые слова: городской рельсовый транспорт, интеллектуальное управление, микросервисная архитектура, архитектура сети, большие данные, архитектура программного обеспечения, городской рельсовый транспорт.

---

*Информация об авторах:
Алексеев Виктор Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры управления и защиты информации Российского университета транспорта, Москва, Россия, alekseevvm@rambler.ru.
Баранов Леонид Аврамович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой управления и защиты информации Российского университета транспорта, Москва, Россия, Baranov.miit@gmail.com.
Кулагин Максим Алексеевич – заместитель начальника отдела разработки технологических информационных систем АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Москва, Россия, kulagin.maxim@vniizht.ru.
Сидоренко Валентина Геннадьевна – доктор технических наук, профессор кафедры управления и защиты информации Российского университета транспорта, Москва, Россия, ✉ Valenfalk@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 20.01.2021, принята к публикации 26.02.2021.

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

ВВЕДЕНИЕ

Рост объёма пассажирских перевозок в условиях крупных городских конгломераций и мегаполисов эффективно обеспечивается объединением общественного транспорта и городских линий железных дорог. Управление движением в этих условиях требует создания интеллектуальных централизованных многоуровневых систем управления, реализующих заданные показатели качества, комфорта и безопасности перевозок пассажиров. Современные системы управления дополнительно решают задачи экономии энергии на тягу подвижного состава, являются фундаментом и составной частью систем цифровизации городского транспорта и города в целом.

Построение систем, решающих задачи планирования и управления движением, реализуется с применением алгоритмов, использующих методы искусственного интеллекта, принципы иерархического построения централизованных систем, возможности технологии Big Data. В этих условиях необходимо учитывать возросшие требования не только к программному обеспечению, но и к теоретическим и практическим решениям организации сети. В первую очередь необходимо отметить тот факт, что ИСУ обрабатывают значительно больший объём информации, поскольку используют методы распознавания для контроля доступа на объекты инфраструктуры: это фоновое распознавание лиц персонала, детектирование фактов вторжения, а также увеличение объёмов технологической видео- и аудиосвязи, данных о параметрах большого числа объектов. В системах безопасного управления фиксируются все переговоры персонала. В этой связи значительно возрастают объёмы передаваемой информации. Если для аудиосвязи для обеспечения качества передаваемой информации достаточно использования технологий сжатия информации в каналах со скоростью передачи информации до 64 кБ/с, то для поддержки видеосвязи требуется как минимум в десять раз лучшее качество. Модели управления движением пригородного железнодорожного транспорта в черте городов (например, на Московских центральных диаметрах (МЦД) и Московском центральном кольце (МЦК)) [1], на линиях метрополитена и скоростного трамвая [2]) используют значительные объёмы информации, поступающие от систем контроля доступа на инфраструктуру, поскольку необходимо оперативно управлять остановкой подвижного состава при возникновении экстренных ситуаций [3]. Эти системы строятся с использованием моделей распознавания образов, и, как следствие, это ведёт к росту объёмов передаваемого трафика как по беспроводным, так и по оптическим каналам передачи информации. В этой связи объёмы хранимой информации исчисляются в петабайтах. Следует отметить, что изменились не только объёмы передаваемой информации, но и сущность внешних и внутренних атак на информационные ресурсы [4–7]. Если ранее атака предполагала внесение некоторого сбоя в работу системы, то сегодня упор делается на тайный сбор информации и передачу информации скрытым способом.

Построение сети стандартными способами [8; 9], которые были рекомендованы и использованы на практике при реализации систем нового класса таких, как ИСУ, не могут быть применены. Как правило, сети строят по стандартной схеме с двумя или тремя центральными коммутаторами, к которым подключают периферийные коммутаторы, связывающие различные объекты. К этим объектам относятся серверы, приложения, базы данных и субъекты (диспетчеры, программисты, администраторы различных подсистем: безопасности, сети LTE, баз данных и др.). Маршрутов для организации потоков информации при трёх коммутаторах всего два. Это не позволяет дифференцировать трафик передачи информации даже при использовании визуализации в локальной сети. В результате реализация информационных потоков, ориентированных на использование прямых каналов передачи от объектов – контроллеров системы управления к объектам – серверам, практически не выполнима. Между тем ИСУ требуют агрегирования большого количества данных и высокой скорости передачи информации, предполагающей использование оптических интерфейсов для связи с базами хранения информации. В этой связи построение ядра сети ИСУ с большим числом центральных коммутаторов откры-

вает новые возможности увеличения скорости, объёма передаваемой информации, организации взаимодействия приложений и баз данных, а также организации защиты информации.

Известно, что мощность сети определяется связями между узлами. Количество связей *B* определяется следующим образом: $B = N(N-1)/2$, где N – количество узлов. Количество маршрутов M в этом случае равно $M = B - 1$. Это позволяет осуществить канальную передачу информации от большого числа объектов (объекты автоматики и телемеханики, микропроцессорная централизация (МПЦ), рельсовые цепи на станциях и перегонах, стрелочные переводы), с которых необходимо собирать информацию, передавать в базу данных и производить их обработку соответствующим приложением [10]. Применение полносвязных узлов в ядре сети позволяет организовать информационные потоки доставки информации по прямым каналам с использованием оптических линий связи, что в десятки раз повышает скорость и объёмы передаваемой информации. Необходимо отметить тот факт, что дифференцирование потоков по признакам позволяет максимально затруднить передачу по скрытым каналам, так как количество признаков, с помощью которых можно передать информацию путём перестановок, ограничено, поскольку в каждом потоке используется практически один протокол. В организации сети соединение информационных потоков на отдельных узлах происходит крайне редко, что является необходимым условием высокой скорости передачи.

Модель сети ИСУ строится на основе дискреционного метода [11], что означает однозначную привязку субъекта к объекту. На практике это означает, что за субъектом закреплены персональные объекты в сети.

Целью исследования является реализация методов интеллектуальной защиты информационных потоков путём организации временных доверенных маршрутов на основе меток и использования полносвязного ядра сети ИСУ, а также взаимодействия приложений системы интеллектуального управления на основе принципов микросервисной архитектуры программного обеспечения.

Исходя из поставленной цели в статье рассматриваются вопросы организации структуры сети, организации временных доверенных маршрутов для интеграции подсистем интеллектуального управления городским транспортом, а также микросервисной архитектуры, направленной на реализацию в интеллектуальной системе управления программного взаимодействия подсистем в корпоративной сети. Для решения поставленных задач используются *методы* системного анализа, теории графов и компьютерных наук.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Структура сети ИСУ

В ИСУ осуществляется управление движущимися объектами по беспроводной сети 4*G* (*LTE*) [10; 11]. По сети *LTE* осуществляется передача разнородного трафика: голос, видео и данные. В этой связи использование технологии мультисервисной сети *MPLS* является необходимым и оправданным условием. Дискреционную модель сети *MPLS* опишем через декартово произведение объектов и субъектов:

$$(O_i^{MPLS} \bullet O_j^{MPLS}) \bullet S_k,\ i \neq j,\ k = 1,\ m,$$

где S_k – субъекты, персонал;

m – число субъектов;

$(O_i^{MPLS} \bullet O_j^{MPLS})$ – декартовое произведение объектов в сети *MPLS*.

Сеть *MPLS* функционирует на специализированном оборудовании, в операционной системе которого реализованы специальные функции обработки пакетов. К пакету добавляется метка, содержащая префикс *IP*-адреса, порт входа и порт выхода на маршрутизаторах *PE* (провайдерский маршрутизатор) и *P* (маршрутизатор ядра сети *MPLS*). Маршруты заранее записываются в таблицу маршрутизации. Метка длиной 33 бита быстро обрабатывается, в связи с этим скорость доставки увеличивается. На маршрутизаторах *PE* происходит снятие метки, и далее пакеты поступают в маршрутизатор *CE* (клиентский маршрутизатор) и в локальную сеть.

Рассмотрим работу приложения, развёрнутого на объекте O_i^{MPLS} в сети *MPLS*[1]

[1] Методический документ «Меры защиты информации в государственных информационных системах» (утв. Федеральной службой по техническому и экспортному контролю 11 февраля 2014 г.). [Электронный ресурс]: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70491518/. Доступ 17.02.2021.

[4–6]. Приложение Pr_l на объекте O_i^{MPLS} инициализируется субъектом и отправляет по интерфейсу *Ethernet*-пакет, содержащий *MAC*-адреса отправителя и получателя, а также область *DATA*, где помещаются данные используемого приложением Pr_l протокола. В области *DATA Ethernet*-пакета есть расширение, в которое помещается идентификатор N_{Pr_r} информационного потока, создаваемого приложением Pr_l. Идентификатор представляет шифрованную запись *MAC*-адреса объекта O_i^{MPLS} и номер приложения, работающего в сети, а также параметр t_0 – начало передачи потока и t_{live} – параметр жизни или продолжительности информационного потока. Назначение параметров t_0 и t_{live} будет раскрыто далее. Для формирования шифра кода используем симметричный ключ *kl*, заранее заданный для приложения и сервера:
$(MAC_{O_i^{MPLS}}, N_{\mathrm{Pr}_r}, t_0, t_{live})_{E_{kl}}$,

где E_{kl} – шифрование E с секретным ключом *kl*.

Далее идёт стандартная процедура обработки в сети *MPLS*. Пакет поступает на маршрутизатор *CE*, который отправляет его на маршрутизатор *PE*, где к пакету приклеивается метка, и по префиксу *IP*-адреса он направляется к выходному маршрутизатору *PE*, где метка снимается.

При прохождении сети *MPLS* происходит замена *MAC*-адреса первоначального источника, но он сохраняется в расширенной области *DATA*.

После снятия метки пакет с данными поступает на *Ethernet*-интерфейс коммутаторов узлов ядра сети, где в таблице маршрутизации для $(MAC_{O_i^{MPLS}}, N_{\mathrm{Pr}_r}, t_0, t_{live})_{E_{kl}}$ заранее прописаны возможные варианты движения по маршруту. Организует маршрутизацию специализированный сервер – монитор безопасности объектов (МБО).

Объекты сети *MPLS* O_i^{PE}, подсоединённые к выходам на маршрутизаторы *PE* и связанные с частью объектов ядра сети ИСУ O_j^{ISC}, можно описать через Декартово произведение:
$O_i^{PE} \bullet O_j^{ISC}, i \neq j$.

На любом из портов объектов сети *MPLS* O_i^{PE} может появиться пакет с идентификатором:
$(MAC_{O_i^{MPLS}}, N_{\mathrm{Pr}_r}, t_0, t_{live})_{E_{kl}}$.

Возможна реализация двух вариантов маршрутизации информационных потоков.

Первый вариант. Сервер МБО, зная все МАС-адреса и номера, присвоенные приложениям N_{Pr_r}, формирует маршруты по сети ядра ИСУ. Маршрут описываем через начальную и конечную точки:
$M = M(O_j^{ISC}, O_k^{ISC})$,

где j и k – начальные и конечные точки маршрута.

Для выбора кратчайшего маршрута применим алгоритм Дейкстры с параметром $C = 1$ и матрицей *[Z]* контроля занятости узла в ранее составленном маршруте. В качестве маршрута выбирается минимальный по расстоянию до конечного объекта:

$$d(M) = \sum_{i=1}^{n} C(O_j^{ISC}, O_k^{ISC}),$$

где $M(O_j^{ISC}, O_k^{ISC})$ – произвольный маршрут от начальной j-й до конечной k-й точки. Конечная точка доставки (сервер приложений, база данных или другие объекты) определяется не по *IP*-адресу в области *DATA*, а по его *MAC*-адресу (определен заранее), $C(O_j^{ISC}, O_k^{ISC})$ – расстояние от начальной j-й до конечной k-й. Реализация алгоритма маршрутизации представлена в табл. 1.

В описании модели выбора выходного порта используется параметр контроля занятости узла матрица [Z], строки которой соответствуют портам объекта, а столбцы – объектам. На пересечении столбцов и строк ставится 0, если порт занят, в противном случае – 1. Если порт уже занят в маршруте, то при выборе маршрута для множества объектов, работающих с другим приложением, выбирается другой свободный порт объекта.

Рассмотрим назначение параметров времени начала t_0 и продолжительности существования информационного потока t_{live}. Время начала может быть заранее согласовано в приложении, определены начало и продолжительность передачи информационного потока [7; 12; 13]. Эта информация посылается приложением на сервер МБО и используется им для анализа идентификатора потока, например, при осуществлении опроса датчиков-контроллеров состояния элементов инфраструктуры, подвижных объектов, объектов

Таблица 1

Алгоритм формирования маршрута (составлен авторами)

Идентификатор	Объект ядра	Входной порт	Выходной порт
$(MAC_{O_i^{MPLS}}, N_{\mathrm{Pr}_r}, t_0, t_{live})_{E_{kl}}$	O_j^{ISC}	e_i, i = 1, n	$e_k \times [Z], k = 1, n, k \neq i$
$(MAC_{O_{i+k}^{MPLS}}, N_{\mathrm{Pr}_{r+k}}, t_0, t_{live})_{E_{kl}}$	O_{j+k}^{ISC}	e_i, i = 1, n	$e_k \times [Z], k = 1, n, k \neq i$
Таблица заполняется в соответствии со структурной схемой сети			

систем автоматики и др. Вместе с этим может быть одиночный запрос от сервера приложения к объекту контроллеру, где также прописывается время начала и продолжительность существования потока ответа. Аналогично приложение сервера информирует приложение обеспечения безопасности объектов. Временны**е** параметры информационного потока для системы безопасности важны для того, чтобы определить время существования маршрута в ядре сети ИСУ. Параметры t_0 *и* t_{live} задаются приложением, определяются из необходимых потребностей на основании знания значений параметров контроля, которые используются в приложении. По окончании времени t_{live} происходит отмена маршрута. Это означает, что любая атака с использованием *MAC*-адреса внутри сети будет невозможна, поскольку доверенный маршрут временный и был разобран.

Второй вариант. Модель организации маршрутов основывается на использовании локального назначения *MAC*-адресов коммутатора по его портам администратором. Метка о локальном управлении *MAC*-адресом ставится в конце, и *MAC*-адрес имеет вид: xxxx.xxxx.xxxx.xxxx.xxxx.xx01. Таблица маршрутов при втором подходе строится на основе: *MAC*-адресов, порта, метки m_l. Метка m_l назначается на основе *IP*-адреса получателя в области *DATA*-пакета *Ethernet*. При этом в сети назначается протокол *IEEE* 802.1*q*, где содержится байт с тегом метки m_l, байт с типом протокола и указателем, что в сети используются пакеты протокола *IEEE* 802.1*q*. В таблице маршрутов сравнивается метка, назначенная заранее сервером МБО, и метка в протоколе *IEEE* 802.1*q*, в результате пакет направляется на соответствующий порт коммутатора. При достижении конечной точки доставки информационная метка удаляется, и пакет с данными поступает на сервер. Отметим, что применение данной технологии совпадает с виртуализацией сети и при полносвязности позволяет изолировать информационные потоки. Также стоит заметить, что это является одним из условий реализации сети и информационного взаимодействия для критически важных объектов Российской Федерации.

Рассмотрим модель взаимодействия приложений (различных задач управления ИСУ), которыми управляют диспетчеры ГРТС, администраторы сетей *LTE*, сетей подсистем ГРТС (метрополитена, пригородного железнодорожного транспорта в черте городов, скоростного трамвая):

$$(O_i^{ISC} \cdot O_j^{ISC})_{coreISC} \cdot (U_i(O_i^{pr} \cdot S_j^{ds}) + U_i(O_i^{adm} \cdot S_j^{adm}) +$$
$$+ U_i(O_i^{db} \cdot S_j^{db}) +$$
$$+ \left[U_i(O_i^{MPLS} \cdot O_j^{MPLS}) \cdot S_j^{sp}\right]_{rail} + \left[U_i(O_i^{MPLS} \cdot O_j^{MPLS}) \cdot S_j^{sp}\right]_{metro} +$$
$$+ \left[U_i(O_i^{MPLS} \cdot O_j^{MPLS}) \cdot S_j^{sp}\right]_{tram} + O^{id} + O^{usc}), i \neq j,$$

где $(O_i^{ISC} \cdot O_j^{ISC})_{coreISC}$ – ядро сети ИСУ;

$U_i(O_i^{pr} \cdot S_j^{ds})$ – централизованные системы управления движением по видам ГРТС: метрополитен, пригородный железнодорожный транспорт в черте городов, скоростной трамвай;

$U_i(O_i^{adm} \cdot S_j^{adm})$ – объекты, связанные с администраторами системы ИСУ (системные, сетевые);

$U_i(O_i^{db} \cdot S_j^{db})$ – объекты, связанные с администраторами баз данных;

S_j^{sp} – обслуживающий персонал;

$[U_i(O_i^{MPLS} \cdot O_j^{MPLS}) \cdot S_j^{sp}]_{rail}$ – сеть централизованной системы управления движением электропоездов пригородного железнодорожного транспорта в черте городов (ЦСУ-ДЭП), объединяющая центр ситуационного управления движением электропоездов

пригородного железнодорожного транспорта в черте городов и интегрированные подсистемы верхнего функционального уровня ЦСУДЭП;

$[U_i(O_i^{MPLS} \cdot O_j^{MPLS}) \cdot S_j^{sp}]_{metro}$ – сеть централизованной системы управления движением поездов метрополитена (ЦСУДПМ), объединяющая центр ситуационного управления движением поездов метрополитена и интегрированные подсистемы верхнего функционального уровня ЦСУДПМ;

$[U_i(O_i^{MPLS} \cdot O_j^{MPLS}) \cdot S_j^{sp}]_{tram}$ – сеть централизованной системы управления движением скоростного трамвая (ЦСУДСТ), объединяющая центр ситуационного управления движением скоростного трамвая и интегрированные подсистемы верхнего функционального уровня ЦСУДСТ;

O^{id} – сеть межведомственного электронного документооборота,

O^{usc} – сеть Городского центра управления внеуличным транспортом.

В составе модели также находится изолированная сеть обеспечения безопасности МБО[2, 3]. Она содержит отдельный интерфейс *GE* для управления маршрутами ядра через таблицы маршрутизации. Дискреционная модель сети сервера МБО имеет вид:

$$O_{GE}^{SecO} \cdot [(O_i^{ISC} \cdot O_j^{ISC})_{GEcoreISC} + \cup_i (O_i^{pr})_{GE} + \cup_i (O_i^{db})_{GE} + \\ + \cup_i (O_i^{MPLS})_{GErail} + \cup_i (O_i^{MPLS})_{GEmetro} + \cup_i (O_i^{MPLS})_{GEtram}],$$

где O_{GE}^{SecO} – объекты сервера МБО, приложений, баз данных, сети *MPLS* в изолированной сети обеспечения безопасности МБО, подключаемые по интерфейсу *GE*.

В сети ИСУ должен применяться отдельный физический управляемый (контролируемый) сетевой интерфейс для каждого внешнего телекоммуникационного сервиса.

В модели предусмотрен обмен с государственными органами и организациями (ОАО «РЖД», Департамент транспорта г. Москвы и др.) через систему межведомственного документооборота[4, 5].

Структура централизованной интеллектуальной системы управления городской рельсовой транспортной системой (ЦИСУ ГРТС) представлена на рисунке ниже (рис. 1). Перечень информационных ресурсов-приложений для решения задач управления:

- интеллектуальная система прогнозирования и анализа пассажиропотока ГРТС;
- интеллектуальная система прогнозирования, планирования и анализа работы ГРТС;
- интеллектуальная система прогнозирования, планирования и анализа работы операторов транспортного средства ГРТС;
- интеллектуальная система прогнозирования, планирования и анализа работы диспетчеров ГРТС;
- интеллектуальная система прогнозирования, планирования и анализа работ по техническому содержанию инфраструктуры ГРТС;
- интеллектуальная система прогнозирования, планирования и анализа работы транспортных средств ГРТС;
- интеллектуальная система управления движением и безопасностью транспортных средств ГРТС;
- бортовые устройства беспилотного управления транспортными средствами ГРТС;
- ситуационный центр.

---

[2] Приказ Федеральной службы по техническому и экспортному контролю Российской Федерации от 25 декабря 2017 г. № 239 «Об утверждении требований по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации (в ред. Приказов ФСТЭК России от 9 августа 2018 г. № 138, от 26 марта 2019 г. № 60, от 20 февраля 2020 г. № 35). [Электронный ресурс]: https://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/obespechenie-bezopasnosti-kriticheskoj-informatsionnoj-infrastruktury/288-prikazy/1592-prikaz-fstek-rossii-ot-25-dekabrya-2017-g-n-239. Доступ 17.02.2021.

[3] ГОСТ Р ИСО 14813-1-2011. Национальный стандарт Российской Федерации «Интеллектуальные транспортные системы. Схема построения архитектуры интеллектуальных транспортных систем. Часть 1. Сервисные домены в области интеллектуальных транспортных систем, сервисные группы и сервисы». [Электронный ресурс]: https://docs.cntd.ru/document/1200086739. Доступ 17.02.2021.

[4] Методический документ «Меры защиты информации в государственных информационных системах» (утв. Федеральной службой по техническому и экспортному контролю 11 февраля 2014 г.). [Электронный ресурс]: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70491518/. Доступ 17.02.2021.

[5] Приказ Федеральной службы по техническому и экспортному контролю Российской Федерации от 11 февраля 2013 года № 17 «Об утверждении Требований о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах» (с изменениями на 27 апреля 2020 года, редакция, действующая с 1 января 2021 года). [Электронный ресурс]: https://docs.cntd.ru/document/499002630. Доступ 17.02.2021.

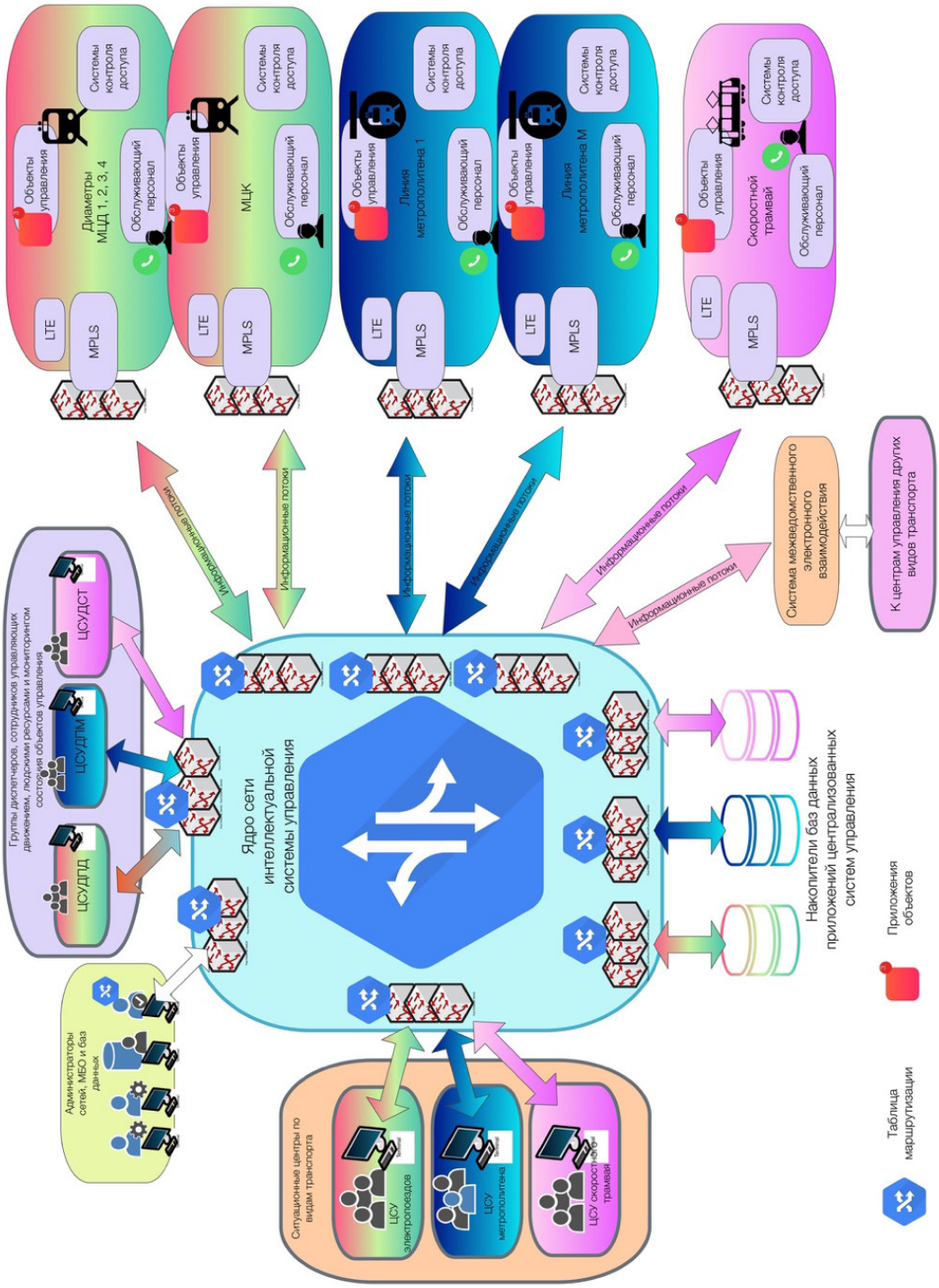


Рис. 1. Архитектура системы сбора и обработки большого объёма данных для внедрения ЦИСУ ГРТС (схема составлена авторами).

Техническая реализация сети ИСУ базируется на использовании оптических коммутаторов со встроенной системой управления посредством порта *GE* сети МБО. Ядро сети ИСУ физически располагается в стойке, где развёртывается полносвязная сеть. Связь между сетями *MPLS* централизованных систем управления движением по видам ГРТС осуществляется на основе установления связей между маршрутизаторами *PE* (снятие метки) сети *MPLS* и пересылки на маршрутизатор CE, соединённый с коммутаторами ядра по оптическим кабелям со скоростью обмена до 8 Гб/с.

Скорость обмена в ядре 16 Гб/с с периферией (персональные компьютеры диспетчеров, администраторов сетей и приложений, а также компьютеров ЦСУ) до 8–16 Гб/с. Хранилища баз данных сформированы по видам транспорта и типам задач управления, решаемых для конкретного вида транспорта. Скорость обмена между объектами ядра сети и накопителями – 16 Гб/с. Объём хранилища составляет: пригородный железнодорожный транспорт в черте городов – до 20 петабайт (Пб), метрополитен – до 20 Пб, скоростной трамвай – до 3 Пб.

По требованиям безопасности выход в сеть Интернет запрещён для критически важных объектов, к которым относится транспорт города[6, 7, 8].

Ядро ЦИСУ ГРТС объединяет в единый хаб следующие центры: Городской центр управления внеуличным транспортом, связанный с центрами ситуационного управления по видам городского рельсового транспорта: пригородного железнодорожного транспорта в черте городов, метрополитена, скоростного трамвая, а также интегрированные подсистемы верхнего функционального уровня централизованного управления движением транспортных средств пригородного железнодорожного транспорта в черте городов, метрополитенов и скоростного трамвая.

Ядро ИСУ предоставляет для каждого центра необходимые ресурсы: диспетчерские пулы по видам городского транспорта отдельно для каждой линии метрополитена, участка пригородного железнодорожного транспорта в черте городов (диаметра или кольца) и участка движения скоростного трамвая; базы данных; серверы; выход в корпоративные сети *MPLS*, развёрнутые на линиях метрополитена, участках пригородного железнодорожного транспорта в черте городов (диаметра или кольца) и участках движения скоростного трамвая.

Диспетчерские пулы оснащены персональными компьютерами, видеостенами, технологической связью с обслуживающим персоналом на линиях и участках.

К ядру ЦИСУ ГРТС подключены администраторы баз данных, приложений систем управления верхнего уровня по видам транспорта и администраторы сети *MPLS* и сотовой связи 4G (*LTE*), а также администраторы безопасности. Ядро ЦИСУ ГРТС обеспечивает организацию изолированных информационных потоков большого объёма между серверами приложений систем управления за счёт применения оптических интерфейсов и реализации полносвязной сети, направленных к объектам нижнего уровня систем управления.

Рассмотрим работу сети при управлении движением электропоездов пригородного железнодорожного транспорта в черте городов. Базовыми устройствами, обеспечивающими безопасное движение, являются системы МПЦ, управляющие стрелками, сигналами, рельсовыми цепями, переездами и другими устройствами в пределах станции, системы автоблокировки (АБ), обеспечивающие контроль

---

[6] Методический документ «Меры защиты информации в государственных информационных системах» (утв. Федеральной службой по техническому и экспортному контролю 11 февраля 2014 г.). [Электронный ресурс]: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70491518/. Доступ 17.02.2021.

[7] Приказ Федеральной службы по техническому и экспортному контролю Российской Федерации от 25 декабря 2017 г. № 239 «Об утверждении требований по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации (в ред. Приказов ФСТЭК России от 9 августа 2018 г. № 138, от 26 марта 2019 г. № 60, от 20 февраля 2020 г. № 35). [Электронный ресурс]: https://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/obespechenie-bezopasnosti-kriticheskoj-informatsionnoj-infrastruktury/288-prikazy/1592-prikaz-fstek-rossii-ot-25-dekabrya-2017-g-n-239. Доступ 17.02.2021.

[8] ГОСТ Р ИСО 14813-1-2011. Национальный стандарт Российской Федерации «Интеллектуальные транспортные системы. Схема построения архитектуры интеллектуальных транспортных систем. Часть 1. Сервисные домены в области интеллектуальных транспортных систем, сервисные группы и сервисы». [Электронный ресурс]: https://docs.cntd.ru/document/1200086739. Доступ 17.02.2021.

состояния рельсовой цепи в контрольном режиме, системы энергоснабжения, а также системы контроля инфраструктуры (путь, полотно, рельсы). Система управления высокоскоростным составом агрегирует информацию с этих систем на серверах радиоблокцентров с целью передачи на бортовые системы управления на подвижном составе (с использованием защищённого протокола) по беспроводной системе связи 4G (*LTE*), где происходит расчёт предельных значений скорости для обеспечения тормозного пути.

С целью обеспечения требований безопасности системы МПЦ, диспетчерской централизации (ДЦ), АБ осуществляют управление объектами с использованием собственных серверов по специальным протоколам. Для обеспечения режима безопасного обмена информацией между серверами радиоблокцентра в ЦСУДЭП создана буферная база данных *MySQL*. Информация из базы данных поступает по сети *MPLS* в ядро сети ЦИСУ ГРТС на сервера верхнего функционального уровня ЦСУДЭП.

Подсистемы верхнего функционального уровня ЦСУДЭП используют данные, поступающие из системы контроля инфраструктуры через сеть *MPLS*. Системы контроля инфраструктуры осуществляют сбор информации с элементов пути для определения ограничений скорости, обусловленных состоянием верхнего строения пути, ремонтными работами, отсутствием незаконного проникновения предметов, животных, людей. С целью обеспечения скоростной доставки информации управления от подсистемы верхнего функционального уровня ЦСУДЭП до бортовых систем управления на подвижном составе в ядре ЦИСУ ГРТС формируется маршрут между сервером управления движением подвижного состава и контроллером на подвижном составе. Для пакетов управления устанавливается приоритет не ниже 5 (*QoS*). Время задержки пакетов не более 20 мкс.

Верхний функциональный уровень ЦСУДПМ строится для каждой линии метрополитена. Сеть ЦИСУ ГРТС управления выполняет следующие функции: связывает серверы верхнего функционального уровня ЦСУДПМ каждой линии, с одной стороны, и бортовые системы управления на подвижном составе (нижний уровень ЦСУДПМ), системы контроля доступа на инфраструктуру (контроль появления посторонних предметов, людей и других препятствий: оползней, грунтовых вод и т.д.), системы МЧС и пожарной тревоги, системы диагностики технического состояния устройств автоматики и телемеханики (системы автоматической локомотивной сигнализации с автоматическим регулированием скорости (АЛС-АРС) и ДЦ, предотвращающих превышение скоростей и обеспечивающих остановку состава в экстренных случаях), подвижного состава, систем энергоснабжения с другой стороны.

Для реализации верхнего функционального уровня ЦСУДПМ на линиях метрополитена развёрнута мультисервисная сеть *MPLS*, задачей которой является интеграция беспроводной сети передачи информации 4G (*LTE*) для связи бортовых систем управления на подвижном составе и технологических систем связи для обслуживающего персонала, интеграция по оптическим каналам с системами контроля доступа, системами обеспечения безопасности движения АЛС-АРС, ДЦ, системами технической диагностики устройств энергоснабжения, автоматики и телемеханики, расположенными на линии метрополитена.

Для обеспечения режима приоритетной доставки информации от приложений серверов верхнего функционального уровня ЦСУДПМ реализован режим изолированного маршрута (за счёт полносвязности объектов сети) в ядре сети ИСУ со скоростью 16 Мб/с (по оптическому кабелю) и режим *QoS* в *MPLS* с приоритетом не ниже 5, что обеспечивает доставку информации от серверов управления до бортовых систем управления на подвижном составе с задержкой не более 20 мкс.

Алгоритмы ведения подвижного состава метрополитена и их параметры определяются на верхнем функциональном уровне ЦСУДПМ с учётом текущего технического состояния инфраструктуры и подвижного состава, а также ограничений, формируемых системами обеспечения безопасности движения.

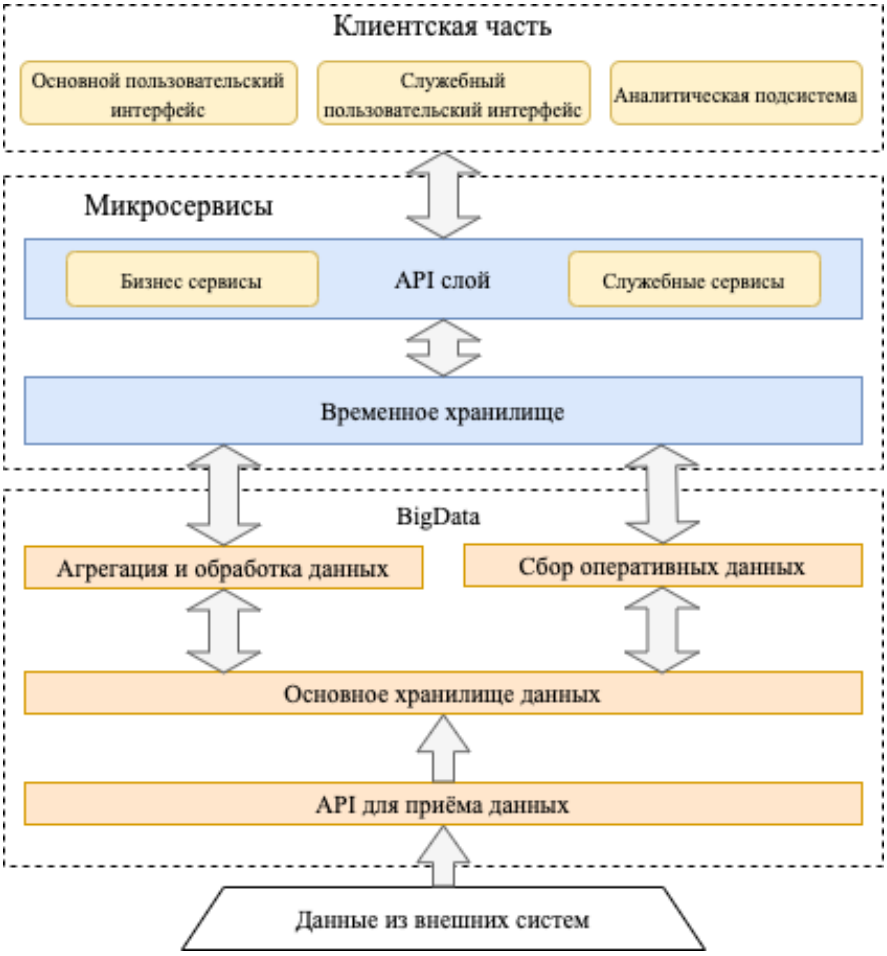


Рис. 2. Архитектура системы сбора и обработки большого объёма данных для внедрения ЦИСУ ГРТС (схема составлена авторами).

Рассмотрим работу сети при управлении движением скоростного трамвая. Связь между бортовыми системами управления на скоростном трамвае и верхним функциональным уровнем ЦСУДСТ осуществляется по сети *LTE* через корпоративную сеть *MPLS*. Местоположение трамвая определяется на основе высокоточной координатной сети и цифровой модели пути, обеспечивающих высокую точность позиционирования скоростного трамвая. Оценка состояния пути проводится с использованием видеокамер, установленных вдоль линий движения. На основании полученной информации формируются ограничения скорости движения или сигнал остановки состава. Требуемая скорость доставки информации от верхнего функционального уровня ЦСУДСТ обеспечивается установкой приоритетов пакетам управления и изолированным маршрутам в ядре сети ЦИСУ ГРТС.

Структура уровня приложений ИСУ

Рассмотрим особенности реализации приложений, управления ими и их взаимодействия с базами данных.

При создании ЦИСУ ГРТС требуется учитывать ряд узких мест с точки зрения хранения автоматизации и взаимодействия с внешними системами:

• хранение и обработка информации, которая необходима для функционирования ЦИСУ ГРТС. Эта информация собирается в большом числе сторонних автоматизированных систем. Имеющиеся автоматизированные системы используют различные технологии, интерфейсы, архитектуру;

• индивидуальная реализация информационного обмена между автоматизированными системами управления (АСУ) сторонних разработчиков;

• достоверность данных, хранящихся в различных АСУ, не всегда обеспечена соответствующими технологиями и процедурами логического контроля данных;

• имеющиеся АСУ обеспечивают только оперативное хранение данных, длительное накопление информации в течение всего жизненного цикла объектов управления не выполняется, что затрудняет или делает невозможным эффективное применение инструментов предиктивной аналитики, машинного обучения и т.д.

Для устранения этих ограничений и создания ЦИСУ ГРТС должны быть решены следующие задачи:

• определение спектра цифровых технологий, позволяющих аккумулировать и анализировать значительные массивы информации от транспортных средств и объектов инфраструктуры в целях обеспечения гибкого подхода к технической эксплуатации ГРТС, технологического оборудования и инженерных сооружений;

• разработка схем данных, обеспечение их хранения в структуре распределённого хранилища данных ЦИСУ ГРТС;

• создание распределённого хранилища данных ЦИСУ ГРТС, использующего технологии больших данных и распределённого реестра, предназначенного для совместного использования ЦИСУ ГРТС и внешними поставщиками данных;

• создание механизма ввода данных в распределённое хранилище на основе унифицированного *API*-интерфейса по инициативе смежных АСУ по факту появления в них данных, необходимых ЦИСУ ГРТС;

• создание возможности ввода данных, поступающих от бортовых систем в режиме реального времени;

• создание функциональности:

– логического контроля данных, поступающих в ЦИСУ ГРТС;

– управления конфликтами и ошибками, выявляемыми при поступлении данных;

– визуализации данных, хранящихся в распределённом хранилище;

– обеспечения возможности раннего выявления рисков в управлении поддержанием технической готовности человеческих и технических ресурсов ГРТС за счёт внедрения современных аналитических методов статистической обработки и машинного обучения;

– реализации информационных сервисов в интересах потребителей информации о ГРТС.

Архитектура по ЦИСУ ГРТС

Авторами разработана архитектура и выставлены требования к построению гетерогенной системы сбора и обработки большого массива информации, поступающей из различных источников с учётом определённых задач.

В качестве базиса при построении системы для работы с большими данными было взято две архитектуры: *lambda* и микросервисная (МС).

Архитектура стоит из трёх основных блоков (рис. 2):

• клиентская часть – сервисы, используемые внешними клиентами;

• микросервисы – сервисы, которые обрабатывают запросы от клиента и взаимодействуют с временным хранилищем;

• *BigData* – основное хранилище с данными большого объёма, требующими значительных ресурсов на использование и обслуживание [14–18].

В клиентской части системы реализованы способы взаимодействия через основной и служебный пользовательский интерфейс. Основной пользовательский интерфейс включает отчётные формы для различных бизнес-направлений системы. Служебный пользовательский интерфейс включает в себя подсистемы мониторинга общего состояния системы и осуществляет прямой доступ через *web*-интерфейс к данным для решения интеллектуальных задач.

Микросервисная часть [19] состоит из слоёв, каждый из которых имеет свой логический уровень:

• *API* слой работает напрямую с запросами, поступающими из клиентской части, и запрашивает необходимые данные из временного хранилища. *API* слой включает сервисные и бизнес модули.

• временное хранилище – хранилище данных с результатами расчётов, оперативными данными и данными о пользователях.

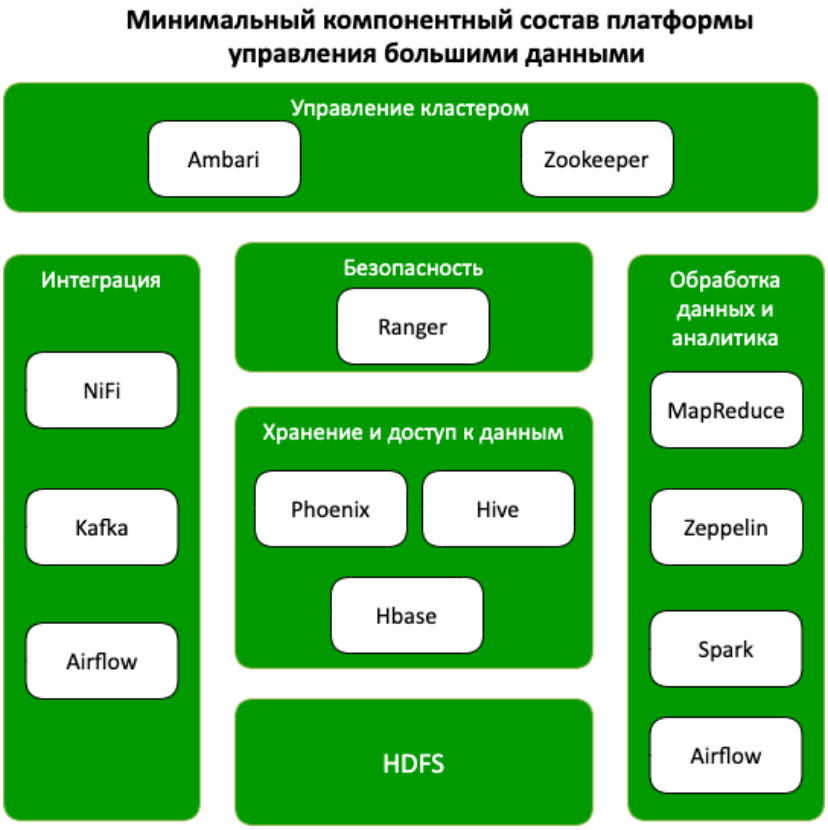


Рис. 3. Программное содержание ЦИСУ ГРТС (схема составлена авторами).

Используемые технологии: *MongoDB* [20] и *CouchDB* [21].

BigData часть состоит из слоёв, каждый из которых имеет свой логический уровень:

• агрегация и обработка данных – сервис выполняет расчёт признаков и прогнозов на основе данных, поступивших в основное хранилище;

• сбор оперативных данных – *API*-сервис для передачи оперативных данных во временное хранилище;

• основное хранилище данных – распределённое файловое хранилище, построенное с использованием технологий *HBase* [22] и *HDFS* [23];

• *API* для приёма данных – сервис приёма данных из внешних систем, построенный с использованием технологии *NiFi* [24].

Программная среда может включать в себя (рис. 3):

• *Unix* подобную операционную систему;

• *Ambari* – развёртывание и администрирование кластера *Hadoop* [25];

• *Zookeeper* – сервис, обеспечивающий распределённую синхронизацию конфигурационной информации пространства имён для группы используемых приложений [26];

• *Ranger* – модуль, обеспечивающий центральное управление контролем доступа к файлам, папкам, базам данных, таблицам [27];

• *NiFi* – унифицированный интерфейс сбора информации из внешних систем [24];

• *Kafka* – менеджер очередей [28];

• *Airflow* – библиотека для планирования и мониторинга рабочих процессов [29];

• *Phoenix* – декларативный *SQL* синтаксис, применяемый к базе данных *HBase* [30];

• *HBase*, *Hive* – распределённое хранение и синхронизация больших данных [25];

• *MapReduce* – технология распределённых вычислений, используемая для параллельных вычислений над большими (до нескольких петабайт) наборами данных в компьютерных кластерах [31];

• *Zeppelin* – визуализация и аналитика больших данных [32];

• *Spark* – фреймворк для распределённой пакетной и потоковой обработки неструктурированных и слабоструктурированных данных [33];

• *HDFS* – распределённое хранение файлов больших данных [25].

Система должна обеспечивать возможность хранения данных ГРТС в течение всего жизненного цикла как самого объекта, так и связанных объектов. Данные не удаляются и накапливаются, принудительная чистка не предусмотрена. Допускается возможность архивирования данных.

Скорость отклика ЦИСУ ГРТС должна составлять:

• для операций навигации по экранным формам системы – не более 5 с;

• для операций формирования отчётов – не более 5 минут.

Система должна обеспечивать отражение следующих изменений:

• добавление новых предприятий – пользователей (функциональных заказчиков) ЦИСУ ГРТС;

• изменение наборов данных, поступающих от ГРТС.

Система должна иметь открытые интерфейсы для развития (модернизации) и интеграции.

Система должна обеспечить возможность поэтапного наращивания своих функциональных возможностей, в том числе:

• замену аппаратного и системного программного обеспечения при условии соответствия требованиям, определённым в документации на типовые и поставляемые программные средства;

• расширение функциональности системы в части разработки новых модулей и подсистем, а также интеграции с разрабатываемыми автоматизированными и информационными системами.

Требования к режимам функционирования системы определены для основного (штатного) режима функционирования, в котором исправно работает оборудование, составляющее комплекс технических средств, и исправно функционирует системное, базовое и прикладное ПО; режим ограниченной функциональности (аварийный режим); режим проведения регламентных работ.

Режим ограниченной функциональности характеризуется отказом одного или нескольких компонентов программного и (или) аппаратного обеспечения. При этом ограниченная работоспособность системы по выполнению функционального назначения сохраняется. Это может быть вызвано нарушением связи или программно-аппаратными сбоями, компенсация которых средствами резервирования невозможна.

Режим проведения регламентных работ предназначен для проведения восстановительных и регламентных работ и модернизации ПО. В этом режиме допускается временная (плановая) недоступность продуктивной системы для пользователей. Регламент перехода из одного режима функционирования в другой, а также инструкции для персонала системы по работе в каждом из указанных выше режимов и по действиям в процессе перехода от одного режима к другому должны быть описаны в эксплуатационной документации.

Требования по диагностированию системы заключаются в том, что должен быть инструментарий диагностирования работоспособности основных процессов системы и выявления событий, важных с точки зрения функционирования информационной системы. Данный инструментарий должен обеспечить необходимый мониторинг функционирования информационной системы путём ведения специализированных журналов (лог-файлов).

Комплексный мониторинг функционирования информационной системы осуществляется комбинацией следующих способов:

• стандартный мониторинг информационной системы – мониторинг аппаратных ресурсов, мониторинг работоспособности процессов и сервисов;

• мониторинг доступности *URL*-ссылок;

• мониторинг записей в лог-файлах информационной системы, имеющих стандартизированную и документированную структуру;

• мониторинг содержимого служебных таблиц БД информационных систем;

• мониторинг сообщений, получаемых от информационной системы по протоко-

лу *SNMP* на серверы мониторинга, с *IP*-адресом, задаваемым параметрически;

• другие способы диагностики, согласованные с сопровождающим персоналом и администраторами системы мониторинга.

При возникновении аварийных ситуаций или ошибок в ПО диагностические инструменты должны позволять сохранять полный набор информации, необходимой для идентификации проблемы.

Должна быть предусмотрена функция выдачи отчётов о работе системы.

ВЫВОДЫ

В результате проведённого исследования предложено использовать организацию защищённых информационных потоков для ЦИСУ ГРТС на основе меток и реализации полносвязного ядра сети системы. Полносвязность ядра позволяет увеличить скорость информационного обмена, разделять потоки между приложениями ИСУ по типам протоколов и создавать временные доверенные информационные потоки с минимальным набором признаков, затрудняя организацию тайных каналов передачи информации.

Реализация сети ЦИСУ ГРТС с использованием полносвязного ядра и оптических каналов позволяет связать сеть *MPLS* подсистем управления верхнего уровня с ядром ЦИСУ ГРТС локальным полносвязным сегментом, что повышает безопасность и объёмы передаваемой информации от периферийного оборудования нижнего уровня.

Предложенная авторами архитектура ПО позволит организовать эффективную работу ЦИСУ ГРТС с точки зрения процессов хранения, получения и обработки данных. В том числе, учитывая тот факт, что система на программном уровне включает в себя микросервисную архитектуру, позволяет обеспечить простоту сопровождения, разработки и развёртывания. Микросервисная архитектура доказала свою состоятельность при разработке комплексной модели линии метрополитена и создании на её базе широкого спектра средств управления, планирования, оптимизации и обучения [34–36], а также при создании системы «Доверенная среда локомотивного комплекса» [37].

ЛИТЕРАТУРА

1. Вакуленко С. П., Роменский Д. Ю., Мнацаканов В. А., Дорохов А. В., Власов Д. Н. Разработка вариантов модернизации Московской монорельсовой транспортной системы // Метро и тоннели. – 2020. – № 4. – С. 28–36. [Электронный ресурс]: https://hutor.info/wp-content/uploads/2020/12/2_533227896687716185 3.pdf. Доступ 14.02.2021.

2. Shevlyugin, M.V., Korolev, A. A., Golitsyna, A. E., Pletnev, D. S. Electric stock digital twin in a subway traction power system. Russian Electrical Engineering, 2019, Vol. 90, Iss. 9, pp. 647–652. DOI: 10.3103/S1068371219090098. Доступ 14.02.2021.

3. Павловский А. А., Охотников А. Л. Информационная транспортная ситуация // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – Т. 2. – № 6. – С. 16–24. [Электронный ресурс]: http://www.vniias.ru/images/img/online_journal/pdf/02_2018/2_2018.pdf. Доступ 14.02.2021.

4. Атрощенко В. А., Руденко М. В., Дьяченко Р. А., Багдасарян Р. Х. К вопросу оценки достоверности информации для предотвращения mitm-атаки при передаче закрытой информации по открытым каналам связи // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 3. – С. 82–82. [Электронный ресурс]: https://science-education.ru/pdf/2013/3/375.pdf. Доступ 14.02.2021.

5. Sudhir, Udipi. The event data management problem: getting the most from network detection and response. Network Security, January 2021, Vol. 2021, Iss. 1, pp. 12–14. DOI: https://doi.org/10.1016/S1353-4858(21)00008-8.

6. Halpin T., Morgan T. Information modelling and relational databases (Second Edition). The Morgan Kaufmann Series in Data Management Systems 2008, 976 p. DOI: 10.1016/B978-0-12-373568-3.X5001-2.

7. Yue, Zeng; Ye, Baoliu; Tang, Bin; Guo, Songtao; Qu, Zhihao. Scheduling coflows of multi-stage jobs under network resource constraints. Computer Networks, January 12, 2021, Vol. 184, pp. 107686. DOI: 10.1016/j.comnet.2020.107686.

8. Уэнстром М. Организация защиты сетей Cisco. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 768 с. ISBN 5-8459-0387-4.

9. Харитонова Е. В. Графы и сети. – Ульяновск: УлГТУ, 2006. – 92 с. [Электронный ресурс]: https://www.studmed.ru/haritonova-ev-grafy-i-seti_9d47b8a399b.html. Доступ 14.02.2021.

10. Кузюков В. А., Новиков В. Г., Сафронов А. И. Микропроцессорные системы управления движением поездов в Московском метрополитене // Автоматика на транспорте. – 2020. – Т. 6. – № 3. – С. 268–293. [Электронный ресурс]: https://cyberleninka.ru/article/n/mikroprotsessornye-sistemy-upravleniya-dvizheniem-poezdov-v-moskovskom-metropolitene/pdf. Доступ 14.02.2021.

11. Девянин П. Н. Модели безопасности компьютерных систем. – М.: Горячая линия-Телеком. – 2018. – 338 с. ISBN 5-7695-2053-1.

12. Zhang, Shunliang; Zhu, Dali. Towards artificial intelligence enabled 6G: State of the art, challenges, and opportunities. Computer Networks, December 24, Vol. 183, pp. 107556. DOI: 10.1016/j.comnet.2020.107556.

13. Mei, Lifan; Hu, Runchen; Cao, Houwei; Liu, Yong; Han, Zifa; Li, Feng; Li, Jin. Realtime Mobile Bandwidth Prediction Using LSTM Neural Network. In: Choffnes D., Barcellos M. (eds) Passive and Active Measurement. PAM 2019. Lecture Notes in Computer Science, vol 11419. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15986-3_3.

14. Kalipe, G. K., Behera, R. K. Big Data Architectures: A detailed and application oriented review. Int. Journal Innov. Technol. Explor. Eng., 2019, Vol. 8, pp. 2182–2190. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/profile/Rajat-Behera/publication/336915402_Big_Data_Architectures_A_detailed_and_application_oriented_review/links/5dba7a2e4585151435d62a79/Big-Data-Architectures-

A-detailed-and-application-oriented-review.pdf. Доступ 14.02.2021.

15. Thurner, T. Big Data Europe for Smart, Green and Integrated Transport. [Электронный ресурс]: https://www.w3.org/community/bde-transport/files/2015/11/Big-Data-for-Smart-Green-and-Integrated-Transport-Workshop-Final-Report.pdf. Доступ 14.02.2021.

16. Авдеева И. Л. Анализ зарубежного опыта использования глобальных технологий «Big Data» // Интернет-журнал «Науковедение». – 2016. – Т. 8. – № 6. – С. 1–11 [Электронный ресурс]: http://naukovedenie.ru/PDF/13EVN616.pdf. Доступ 14.02.2021.

17. Бик Р. Применение Big Data в транспортном планировании. [Электронный ресурс]: https://transport.mos.ru/common/upload/docs/1500293313_Moovit_Moscow_International_Transport_Expert_Council_R.pdf. Доступ 14.02.2021.

18. Технология Big Data на транспорте. Как на транспорте большие данные превратились в ценный актив. Отечественная СУБД Tarantool в проекте аналитики больших данных. [Электронный ресурс]: https://tygeza.ru/tehnologiya-big-data-na-transporte-kak-na-transporte-bolshie-dannye.html. Доступ 14.02.2021.

19. O'Connor, R. V., Elger, P., Clarke, P. M. Continuous software engineering – A microservices architecture perspective. Journal of Software: Evolution and Process, 2017, Vol. 29, Iss. 11, pp. e1866. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/profile/Rory-Oconnor-4/publication/316009873_Continuous_software_engineering-A_microservices_architecture_perspective/links/5a26bc4e4585155dd423eecc/Continuous-software-engineering-A-microservices-architecture-perspective.pdf. Доступ 14.02.2021. DOI: 10.1002/smr.1866.

20. Boicea, A., Radulescu, F., Agapin, L. I. MongoDB vs Oracle-database comparison. 2012 3rd International Conference on Emerging Intelligent Data and Web Technologies. IEEE, 2012, pp. 330–335. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/profile/Alexandru-Boicea/publication/261040647_MongoDB_vs_Oracle_—_Database_Comparison/links/55c2132b08aebc967defd053/MongoDB-vs-Oracle-Database-Comparison.pdf. Доступ 14.02.2021. DOI: 10.1109/EIDWT.2012.32.

21. CouchDB. Apache CouchDB. [Электронный ресурс]: https://couchdb. apache.org. Доступ 14.02.2021.

22. Vora, M. N. Hadoop-HBase for large-scale data. Proceedings of 2011 International Conference on Computer Science and Network Technology. IEEE, 2011, Vol. 1, pp. 601–605. DOI: 10.1109/ICCSNT.2011.6182030.

23. Shvachko, K., Kuang, H., Radia, S., Chansler, R. The Hadoop Distributed File System. 2010 IEEE 26th symposium on mass storage systems and technologies (MSST). IEEE, 2010, pp. 1–10. DOI: https://doi.org/10.1109/MSST.2010.5496972.

24. Kim, S.-S., Lee, W.-R., Go, J.-H. A Study on Utilization of Spatial Information in Heterogeneous System Based on Apache NiFi. 2019 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC). IEEE, 2019, pp. 1117–1119. DOI: 10.1109/ICTC46691.2019.8939734.

25. Venner, J., Wadkar, Sameer; Siddalingaiah, Madhu. Pro Apache Hadoop. Apress, Berkeley, CA, 2014, pp. 399–401. DOI: 10.1007/978-1-4302-4864-4_9.

26. Hunt, P., Konar, M., Junqueira, F. P., Reed, B. ZooKeeper: Wait-free Coordination for Internet-scale Systems. USENIX annual technical conference, 2010, Vol. 8, Iss. 9, pp. 1–14. [Электронный ресурс]: https://www.usenix.org/legacy/events/atc10/tech/full_papers/Hunt.pdf. Доступ 14.02.2021.

27. Gupta, M., Patwa, F., Sandhu, R. An Attribute-Based Access Control Model for Secure Big Data Processing in Hadoop Ecosystem. Proceedings of the Third ACM Workshop on Attribute-Based Access Control, 2018, pp. 13–24. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/profile/Maanak-Gupta/publication/323785048_An_Attribute-Based_Access_Control_Model_for_Secure_Big_Data_Processing_in_Hadoop_Ecosystem/links/5ab0253b0f7e9b4897c1d52b/An-Attribute-Based-Access-Control-Model-for-Secure-Big-Data-Processing-in-Hadoop-Ecosystem.pdf. Доступ 14.02.2021. DOI: 10.1145/3180457.3180463.

28. Wang, Guozhang; Koshy, Joel; Subramanian, Sriram; Paramasivam, Kartik; Zadeh, Mammad; Narkhede, Neha; Rao, Jun; Kreps, Jay; Stein, Joe. Building a replicated logging system with Apache Kafka. Proceedings of the VLDB Endowment, 2015, Vol. 8, Iss 12, pp. 1654–1655. DOI: 10.14778/2824032.2824063.

29. Singh, P. Airflow. Learn PySpark. Apress, Berkeley, CA, 2019, pp. 67–84. [Электронный ресурс]: https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-1-4842-4961-1.pdf. Доступ 14.02.2021.

30. Akhtar, S., Magham, R. Using Phoenix. Pro Apache Phoenix. Apress, Berkeley, CA, 2017, pp. 15–35. [Электронный ресурс]: https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-1-4842-2370-3.pdf. Доступ 14.02.2021.

31. Condie, T., Conway, N., Alvaro, P., Hellerstein, J., Elmeleegy, K., Sears, R. MapReduce Online. Conference: Proceedings of the 7th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation, NSDI 2010, San Jose, CA, USA, April 28–30, 2010, Vol. 10, Iss. 4, pp. 313–328. [Электронный ресурс]: https://www.usenix.org/legacy/events/nsdi10/tech/full_papers/condie.pdf. Доступ 14.02.2021.

32. Cheng, Yanzhe; Liu, Fang; Jing, Shan; Xu, Weijia; Chau, Duen Horng. Building Big Data Processing and Visualization Pipeline through Apache Zeppelin. PEARC'18: Proceedings of the Practice and Experience on Advanced Research Computing, 2018, pp. 1–7. DOI: 10.1145/3219104.3229288.

33. Zaharia, M. [et al.] «Apache spark: a unified engine for big data processing.» Communications of the ACM 59.11 (2016): 56–65. DOI: 10.1145/2934664.

34. Баранов Л. А. Балакина Е. П., Ерофеев Е. В., Сидоренко В. Г. Многофункциональные модели систем управления // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. – 2012. – № 2. – С. 79–82. [Электронный ресурс]: https://publications.hse.ru/mirror/pubs/share/folder/54otctuizr/direct/118351222.pdf. Доступ 14.02.2021.

35. Сидоренко В. Г., Чжо М. А. Исследование возможности применения генетических алгоритмов к решению задач планирования работы электроподвижного состава метрополитена // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2017. – № 6. – С. 37–40. [Электронный ресурс]: https://publications.hse.ru/mirror/pubs/share/direct/213900236.pdf. Доступ 14.02.2021.

36. Кульба В. В., Ковалевский С. С., Косяченко С. А. Кузнецов Н. А. Методы анализа и синтеза модульных информационно-управляющих систем. – М.: Физматлит, 2002. – 800 с. [Электронный ресурс]: http://bookfi.net/book/1471957. Доступ 14.02.2021.

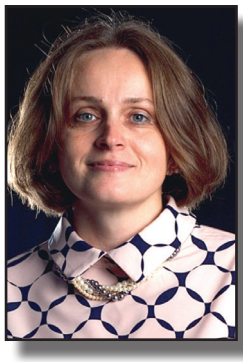
37. Харин О. В., Якимов С. М., Кулагин М. А., Гоник М. М., Хлудеев М. А., Ярощук Д. И. Автоматизированная система доверенная среда локомотивного комплекса (2019). Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020613754, 23.03.2020. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42709956. Доступ 14.02.2021.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, НТУ «Сириус», ОАО «РЖД» и Образовательного Фонда «Талант и успех» в рамках научного проекта № 20-37-51001.

DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-1-18-46

Building Architecture of Intelligent Control System for Urban Rail Transit System



Victor M. ALEXEEV **Leonid A. BARANOV** **Maxim A. KULAGIN** **Valentina G. SIDORENKO**

Alexeev, Victor M., *Russian University of Transport, Moscow, Russia.*
Baranov, Leonid A., *Russian University of Transport, Moscow, Russia.*
Kulagin, Maxim A., *Railway Research Institute, Moscow, Russia.*
Sidorenko, Valentina G., *Russian University of Transport, Moscow, Russia*.*

ABSTRACT

The increase in the volume of passenger transportation in megalopolises and large urban agglomerations is efficiently provided by the integration of urban public transit systems and city railways. Traffic management under those conditions requires creating intelligent centralised multi-level traffic control systems that implement the required indicators of quality, comfort, and traffic safety regarding passenger transportation. Besides, modern control systems contribute to traction power saving, are foundation and integral part of the systems of digitalisation of urban transit and the cities. Building systems solving the traffic planning and control tasks is implemented using algorithms based on the methods of artificial intelligence, principles of hierarchically structured centralised systems, opportunities provided by Big Data technology. Under those conditions it is necessary to consider growing requirements towards software as well as theoretical design and practical implementation of network organisation.

This article discusses designing architecture and shaping requirements for developed applications and their integration with databases to create a centralised intelligent control system for the urban rail transit system (CICS URTS). The article proposes the original architecture of the network, routing of information flows and software of CICS URTS. The routing design is based on a fully connected network. This allows to significantly increase the network bandwidth and meet the requirements regarding information protection, since information flows are formed based on the same type of protocols, which prevents emergence of covert transmission channels. The implementation of the core using full connectivity allows, according to the tags of information flows, to pre-form the routes for exchange of information between servers and applications deployed in CICS URTS. The use of encrypted tags of information flows makes it much more difficult to carry out attacks and organise collection of information about the network structure.

Platforms for development of intelligent control systems (ICS), which include CICS URTS, high computing power, data storage capacity and new frameworks are becoming more available for researchers and developers and allow rapid development of ICS. The article discusses the issues of interaction of applications with databases through a combination of several approaches used in the field of Big Data, substantiates combination of Internet of Things (IoT) methodology and microservice architecture. This combination will make it possible to single out business processes in the system and form streaming data processing requiring operational analysis by a human, which is shown by relevant examples.

Thus, the objective of the article is to formalise the principles of organising data exchange between CICS URTS and automated control systems (ACS) of railway companies (in our case, using the example of JSC Russian Railways), URTS services providers, and city government bodies, implement the developed approaches into the architecture of CICS URTS and formalise principles of organisation of microservice architecture of CICS URTS software. The main research methods are graph theory, Big Data and IoT methods.

Keywords: urban rail transit, intelligent control, microservice architecture, network architecture, Big Data, software architecture, urban rail transit.

---

*Information about the authors:
Alexeev, Victor M. – D.Sc. (Eng), Professor at the Department of Information Control and Protection of Russian University of Transport, Moscow, Russia, alekseevvm@rambler.ru.
Baranov, Leonid A. – D.Sc. (Eng), Professor, Head of the Department of Information Control and Protection of Russian University of Transport, Moscow, Russia, Baranov.miit@gmail.com.
Kulagin, Maxim A. – Deputy Head of the Technological Information Systems' Development Unit of Railway Research Institute (JSC VNIIZhT), Moscow, Russia, kulagin.maxim@vniizht.ru.
Sidorenko, Valentina G. – D.Sc. (Eng), Professor at the Department of Information Control and Protection of Russian University of Transport, Moscow, Russia, ✉ Valenfalk@mail.ru.

Article received 20.01.2021, accepted 26.02.2021.

For the original Russian text of the article please see p. 18.

BACKGROUND

The growth in the volume of passenger transportation in large urban agglomerations and megalopolises is effectively ensured by integration of public transit and urban railway lines. Traffic control in these conditions requires creation of intelligent centralised multi-level control systems that implement the specified indicators of quality, comfort, and safety of passenger transportation. Modern control systems additionally solve the problems of saving energy for traction of rolling stock, are the foundation and an integral part of digitalisation systems of urban transit and the cities.

The construction of systems that solve the problems of planning and traffic control is implemented via algorithms using artificial intelligence methods, the principles of hierarchically structured centralised systems, and the opportunities offered by Big Data technology. In these conditions, it is necessary to consider the increased requirements not only towards software, but also towards theoretical and practical solutions for network organisation. First, it should be noted that ICS process a much larger amount of information, since they use recognition methods to control access to infrastructure objects: this is background face recognition of personnel, intrusion detection, and an increased volume of technological video and audio communication, as well as of data on the parameters of many objects. Safety control systems record all staff negotiations. In this regard, the volumes of transmitted information significantly increase. If for audio communication, to ensure quality of transmitted information, it is sufficient to use information compression technologies in channels with an information transfer rate of up to 64 kB/s, then to support video communication, at least ten times better quality is required. Models of suburban railway traffic control within cities (for example, at Moscow Central Diameters (MCD) and Moscow Central Circle (MCC)) [1], on the metro and high-speed tram lines [2]) significant amounts of information from control systems monitoring access to infrastructure facilities are used, since it is necessary to quickly manage to stop the rolling stock in case of an emergency [3]. These systems are built using pattern recognition models, and, therefore, this leads to an increase in the volume of transmitted traffic via both wireless and optical information transmission channels. In this regard, the volume of stored information is calculated in petabytes. It should be noted that not only the volumes of transmitted information have changed, but also the essence of external and internal attacks on information resources [4–7] has changed accordingly. If earlier the attack supposed to interfere the functioning of a system, today the emphasis is on covert collection of information and transmission of information in a covert way.

Building a network using standard methods [8; 9], which were recommended and used in practice when implementing systems of a new class, such as ICS, cannot be applied. As a rule, networks are built according to a standard scheme with two or three central switches, to which peripheral switches are connected that connect various objects. These objects include servers, applications, databases, and users (dispatchers, programmers, administrators of various subsystems: security subsystems, LTE networks, databases, etc.). There are only two routes for organising information flows with three switches. This does not allow differentiating information transmission traffic, even when using visualisation in a local network. As a result, implementation of information flows focused on the use of direct transmission channels from objects (controllers) of a control system to objects (servers) is practically impossible. Meanwhile, ICS requires aggregation of a large amount of data and a high data transfer rate, which implies the use of optical interfaces for communication with information storage bases. In this regard, construction of ICS network core with many central switches opens up new possibilities for increasing speed, the volume of transmitted information, organising interaction of applications and databases, as well as providing information security.

It is known that power of a network is determined by the connections between nodes. The number of links B is determined as follows: $B = N(N-1)/2$, where N is the number of nodes. The number of routes M in this case is equal to $M = B - 1$. This allows channel transmission of information from a large number of objects (objects of automation and telemechanics, microprocessor centralisation (MPC), track circuits at stations and railway hauls, switch turnouts), from which it is necessary to collect information, and to transfer

it to the database and process it with the appropriate application [10]. The use of fully connected nodes in the core of the network makes it possible to organise information flows for delivering information through direct channels using optical communication lines, which increases speed and volume of transmitted information tenfold. It should be noted that differentiation of flows by features makes it possible to make transmission over covert channels as difficult as possible, since the number of features that can be used to transfer information by permutations is limited, since practically a single protocol is used in each flow. In organisation of the network, connection of information flows at individual nodes is extremely rare, which is a necessary condition for a high transmission speed.

ICS network model is built based on the discretionary method [11], which means the unambiguous binding of the subject to the object. In practice, this means that the subject is assigned with personal objects in the network.

The *objective* of the research is to implement methods of intelligent protection of information flows by organizing temporary trusted routes based on tags and using a fully connected ICS network core, as well as interaction of applications of an intelligent control system based on the principles of microservice software architecture.

Based on this objective, the article discusses the issues of organising the network structure, organising temporary trusted routes for integration of subsystems of intelligent control of urban transit, as well as microservice architecture aimed at implementing program interaction of subsystems in a corporate network within an intelligent control system. To solve the set tasks, the *methods* of systems analysis, graph theory and computer science are used.

RESULTS

Structure of ICS network

In ICS, moving objects are controlled via 4*G* (*LTE*) wireless network [10; 11]. *LTE* network transfers heterogeneous traffic: voice, video, and data. In this regard, the use of *MPLS* multiservice network technology is a necessary and justified condition. We describe the discretionary model of *MPLS* network through the Cartesian product of objects and subjects:

$$(O_i^{MPLS} \bullet O_j^{MPLS}) \bullet S_k,\ i \neq j,\ k = 1,\ m,$$

where S_k are subjects, personnel;

m is number of subjects;

$(O_i^{MPLS} \bullet O_j^{MPLS})$ – Cartesian product of objects in *MPLS* network.

MPLS network operates using specialised hardware, in the operating system of which special packet processing functions are implemented. A tag is added to the packet that contains the *IP* address prefix, ingress port, and egress port on *PE* (provider router) and *P* (*MPLS* network core router) routers. Routes are pre-recorded in the routing table. A 33-bit tag is processed quickly, therefore delivery speed increases. On *PE* routers, the tag is removed, and then the packets go to *CE* router (client router) and to the local network.

Let's consider operation of an application deployed at O_i^{MPLS} in *MPLS*[1] network [4–6]. The application Pr_l on the object O_i^{MPLS} is initialised by the subject and sends over the *Ethernet* interface an *Ethernet* packet containing the source and destination *MAC* addresses, as well as *DATA* area where data of the protocol used by the application Pr_l is stored. In *DATA* area of the *Ethernet*-packet there is an extension that contains the identifier N_{Pr_r} of the information flow generated by the application Pr_l. The identifier represents an encrypted record of the *MAC* address of the object O_i^{MPLS} and the number of the application operating in the network, as well as the parameter t_0 – start point of the flow transmission and t_{live} – life or duration parameter of the information flow. The purpose of parameters t_0 and t_{live} will be explained below. To form the code cipher, we use the symmetric key *kl*, which is predefined for the application and the server:

$$(MAC_{O_i^{MPLS}}, N_{\mathrm{Pr}_r}, t_0, t_{live})_{E_{kl}},$$

where E_{kl} – encryption E with the secret key *kl*.

Next comes the standard *MPLS* processing procedure. The packet arrives at *CE* router, which sends it to *PE* router, where a tag is affixed to the packet, and by the *IP* address prefix, it is directed to the egress *PE* router, where the tag is removed.

[1] Methodological document «Information protection measures in state information systems» (approved by the Federal Service for Technical and Export Control on February 11, 2014). [Electronic resource]: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70491518/. Last accessed 17.02.2021.

Table 1

Algorithm for route formation

Identifier	Core object	Input port	Output port
$(MAC_{O_i^{MPLS}}, N_{\mathrm{Pr}_r}, t_0, t_{live})_{E_{kl}}$	$\mathrm{O_j^{ISC}}$	$\mathrm{e_i}$, i = 1, n	$e_k \times [Z], k = 1, n, k \neq i$
$(MAC_{O_{i+k}^{MPLS}}, N_{\mathrm{Pr}_{r+k}}, t_0, t_{live})_{E_{kl}}$	$\mathrm{O_{j+k}^{ISC}}$	$\mathrm{e_i}$, i = 1, n	$e_k \times [Z], k = 1, n, k \neq i$
The table is filled in accordance with the structural diagram of the network			

When passing through *MPLS* network, the original source *MAC* address is replaced, but it is retained in the extended *DATA* area.

After removing the tag, the packet with data arrives at the *Ethernet* interface of the switches of the nodes of the network core, where in the routing table for:
$(MAC_{O_i^{MPLS}}, N_{\mathrm{Pr}_r}, t_0, t_{live})_{E_{kl}}$
possible options for movement along the route are pre-registered. The routing is organised by a specialised server: Object Security Monitor (OSM).

Objects of *MPLS* network O_i^{PE}, connected to the outputs of *PE* routers and connected with a part of the objects of the core of ICS network O_j^{ISC}, can be described through the Cartesian product:
$O_i^{PE} \bullet O_j^{ISC}, i \neq j$.

A packet with the identifier
$(MAC_{O_i^{MPLS}}, N_{\mathrm{Pr}_r}, t_0, t_{live})_{E_{kl}}$
may appear on any of the ports of *MPLS* network objects $O_i^{PE.}$

It is possible to implement two options for routing information flows.

First option. OSM server, knowing all *MAC* addresses and numbers assigned to applications N_{Pr_r}, generates routes through the ICS core network. We describe the route through the starting and ending points:

$$M = M(O_j^{ISC}, O_k^{ISC}),$$

where *j* and *k* are the starting and ending points of the route.

To choose the shortest route, we will apply Dijkstra's algorithm with the parameter $C = 1$ and the matrix *[Z]* for controlling the occupancy rate of the node in the previously compiled route. The route is selected with the minimum distance to the final object:

$$d(M) = \sum_{i=1}^{n} C(O_j^{ISC}, O_k^{ISC}),$$

where $M(O_j^{ISC}, O_k^{ISC})$ is an arbitrary route from the initial *j*-th to the final *k*-th point. The delivery end point (application server, database, or other objects) is not determined by the *IP* address in *DATA* area, but by its *MAC* address (predefined), $C(O_j^{ISC}, O_k^{ISC})$ is distance from the initial *j*-th point to the final *k*-th one. The implementation of the routing algorithm is presented in Table 1.

In the description of the model for selecting the output port, the node occupancy control parameter is used as matrix [*Z*], the rows of which correspond to the ports of the object, and the columns – to the objects. At the intersection of columns and rows, 0 is put if the port is occupied, otherwise – 1. If the port is already occupied in the route, then when choosing a route for a set of objects working with another application, another free port of the object is selected.

Let us consider the purpose of the parameters of the start time t_0 and of the duration of the existence of the information flow t_{live}. The start time can be pre-agreed in the application, the beginning and duration of the information flow transmission can be determined [7; 12; 13]. This information is sent by the application to OSM server and is used by it to analyse the flow identifier, for example, when polling the sensors-controllers of the state of infrastructure elements, moving objects, objects of automation systems, etc. At the same time, there can be a single request from the application server to the controller object, where the start time and duration of the response flow are also written. Likewise, the server application informs the object security application. The timing parameters of the information flow for the security system are important to determine the lifetime of the route in the core of ICS network. The parameters t_0 and t_{live} are set by the

application, determined from the necessary needs based on the knowledge of the values of the control parameters that are used in the application. At the end of $_{tlive}$ time, the route is cancelled. This means that any attack using a *MAC* address inside the network will not be possible because the trusted route is temporary and has been parsed.

Second option. The routing model is based on the use of local assignment of *MAC* addresses of the switch by its ports by the administrator. The tag about local control of the *MAC* address is put at the end, and the *MAC* address looks like: xxxx.xxxx.xxxxx.xxxx.xxxx.xx01. The route table in the second approach is built based o *MAC*-addresses, port, $m_{l\,\text{tag}}$. The tag m_l is assigned based on the destination *IP* address in the *Ethernet DATA* packet area. In this case, *IEEE 802.1q* protocol is assigned in the network, which contains a byte with a m_l tag, a byte with a protocol type and an indicator that the network uses *IEEE* 802.1*q* protocol packets. The route table compares the tag assigned in advance by OSM server and the tag in *IEEE* 802.1*q* protocol, as a result, the packet is directed to the corresponding port of the switch. When the delivery endpoint is reached, the information tag is removed, and the data packet arrives at the server. It is to note that the use of this technology coincides with network virtualisation and, when fully connected, allows us to isolate information flows. It is to mention that it is one of the conditions for implementation of the network and information interaction for the critical facilities of the Russian Federation.

Let us consider a model of interaction between applications (various control tasks of ICS), which are controlled by dispatchers of URTS, administrators of *LTE* networks, networks of subsystems of URTS (metro, suburban railway transport within cities, high-speed trams):

$$(O_i^{ISC} \cdot O_j^{ISC})_{coreISC} \cdot (U_i\left(O_i^{pr} \cdot S_j^{ds}\right) + U_i\left(O_i^{adm} \cdot S_j^{adm}\right) +$$
$$+U_i\left(O_i^{db} \cdot S_j^{db}\right) +$$
$$\left[U_i\left(O_i^{MPLS} \cdot O_j^{MPLS}\right) \cdot S_j^{sp}\right]_{rail} + \left[U_i\left(O_i^{MPLS} \cdot O_j^{MPLS}\right) \cdot S_j^{sp}\right]_{metro} +$$
$$+\left[U_i\left(O_i^{MPLS} \cdot O_j^{MPLS}\right) \cdot S_j^{sp}\right]_{tram} + O^{id} + O^{usc}\Big), i \neq j,$$

where $(O_i^{ISC} \cdot O_j^{ISC})_{coreISC}$ – core of ICS network;

$U_i\left(O_i^{pr} \cdot S_j^{ds}\right)$ is centralised traffic control systems by types of URTS: metro, suburban railway transit within cities, high-speed tram;

$U_i\left(O_i^{adm} \cdot S_j^{adm}\right)$ – objects associated with administrators of ICS system (system, network);

$U_i\left(O_i^{db} \cdot S_j^{db}\right)$ – objects associated with administrators of databases;

S_j^{sp} – service personnel;

$[U_i\left(O_i^{MPLS} \cdot O_j^{MPLS}\right) \cdot S_j^{sp}]_{rail}$ – a network of a centralised control system for electric train traffic of suburban railway transport within cities (CCSETT), which unites the centre for situational control of electric train traffic of suburban railway transport within cities and integrated subsystems of upper functional level of CCSETT;

$[U_i\left(O_i^{MPLS} \cdot O_j^{MPLS}\right) \cdot S_j^{sp}]_{metro}$ – a network of a centralised control system of metro train traffic (CCSMTT), which unites the centre for situation control of metro train traffic and integrated subsystems of upper functional level of CCSMTT;

$[U_i\left(O_i^{MPLS} \cdot O_j^{MPLS}\right) \cdot S_j^{sp}]_{tram}$ – a network of a centralised control system of high-speed tram traffic (CCSHSTT), which unites the centre for situational control of high-speed tram traffic and integrated subsystems of upper functional level of CCSHSTT;

O^{id} – a network of interdepartmental electronic document management,

O^{usc} – a network of city centre for off-street transport control.

The model also includes an isolated OSM security network[2, 3]. It contains a separate *GE* interface for managing core routes through routing tables. The discretionary model of the OSM server network is as follows:

$$O_{GE}^{SecO} \cdot [(O_i^{ISC} \cdot O_j^{ISC})_{GEcoreISC} + \cup_i (O_i^{pr})_{GE} + \cup_i (O_i^{db})_{GE} +$$
$$+ \cup_i (O_i^{MPLS})_{GErail} + \cup_i (O_i^{MPLS})_{GEmetro} + \cup_i \left(O_i^{MPLS}\right)_{GEtram}],$$

[2] Order of the Federal Service for Technical and Export Control of the Russian Federation of December 25, 2017 No. 239 On approval of requirements for ensuring security of significant objects of critical information infrastructure of the Russian Federation (as amended by Orders of the FSTEC of Russia dated August 9, 2018 No. 138, dated 26 March 2019 No. 60, dated February 20, 2020 No. 35). [Electronic resource]: https://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/obespechenie-bezopasnosti-kriticheskoj-informatsionnoj-infrastruktury/288-prikazy/1592-prikaz-fstek-rossii-ot-2517-degnabrya-239. Last accessed 17.02.2021.

[3] GOST R ISO 14813-1-2011. National Standard of the Russian Federation «Intelligent Transport Systems. Scheme of building the architecture of intelligent transport systems. Part 1. Service domains in the field of intelligent transport systems, service groups and services». [Electronic resource]: https://docs.cntd.ru/document/1200086739. Last accessed 17.02.2021.

where O_{GE}^{SecO} are objects of the OSM server, applications, databases, *MPLS* network in an isolated OSM security network, connected via the *GE* interface.

A separate physical controlled (monitored) network interface for each external telecommunication service should be used in ICS network.

The model provides for an exchange with government agencies and business organisations (JSC Russian Railways, Moscow Department of Transport, etc.) through the system of interdepartmental document management[4, 5].

The structure of the centralised intelligent control system of the urban rail transport system (CICS URTS) is shown in the picture below (Pic. 1). List of information resources – applications for solving management problems comprises:

- an intelligent system for forecasting and analysing the passenger traffic of URTS;
- an intelligent system for forecasting, planning and analysing operation of URTS;
- an intelligent system for forecasting, planning and analysing the work of vehicle operators of URTS;
- an intelligent system for forecasting, planning and analysing the work of dispatchers of URTS;
- an intelligent system for forecasting, planning and analysing works on technical maintenance of URTS infrastructure;
- an intelligent system for forecasting, planning and analysing operation of vehicles of URTS;
- an intelligent system for control of traffic and vehicle safety system of URTS;
- on-board devices for unmanned vehicle control of URTS;
- situational centre.

The technical implementation of ICS network is based on the use of optical switches with a built-in control system through the *GE* port of OSM network. The ICS network core is physically located in the rack where the mesh network is deployed. Communication between *MPLS* networks of centralised traffic control systems by types of URTS is carried out on the basis of establishing connections between *PE* routers (unmarking) of the *MPLS* network and forwarding to a *CE* router connected to the core switches via optical cables with an exchange rate of up to 8 Gb/s.

The exchange rate in the core is 16 Gb/s with peripherals (personal computers of dispatchers, network, and application administrators, as well as CCS computers) up to 8–16 Gb/s. Database storages are formed according to the types of transport and types of management tasks to be solved for a specific type of transport. The exchange rate between objects of the network core and drives is 16 Gb/s. The storage capacity for each type of transport is: suburban rail transport within cities – up to 20 petabytes (PB), metro – up to 20 PB, high-speed tram – up to 3 PB.

According to security requirements, access to the Internet is prohibited for critical facilities, which include city transport[6, 7, 8].

The core of CICS URTS unites the following centres into a single hub: City centre for off-street transport control, connected with the centres of situational control by types of urban rail transit: suburban rail transit within cities, metro, high-speed tram, as well as integrated subsystems of the upper functional

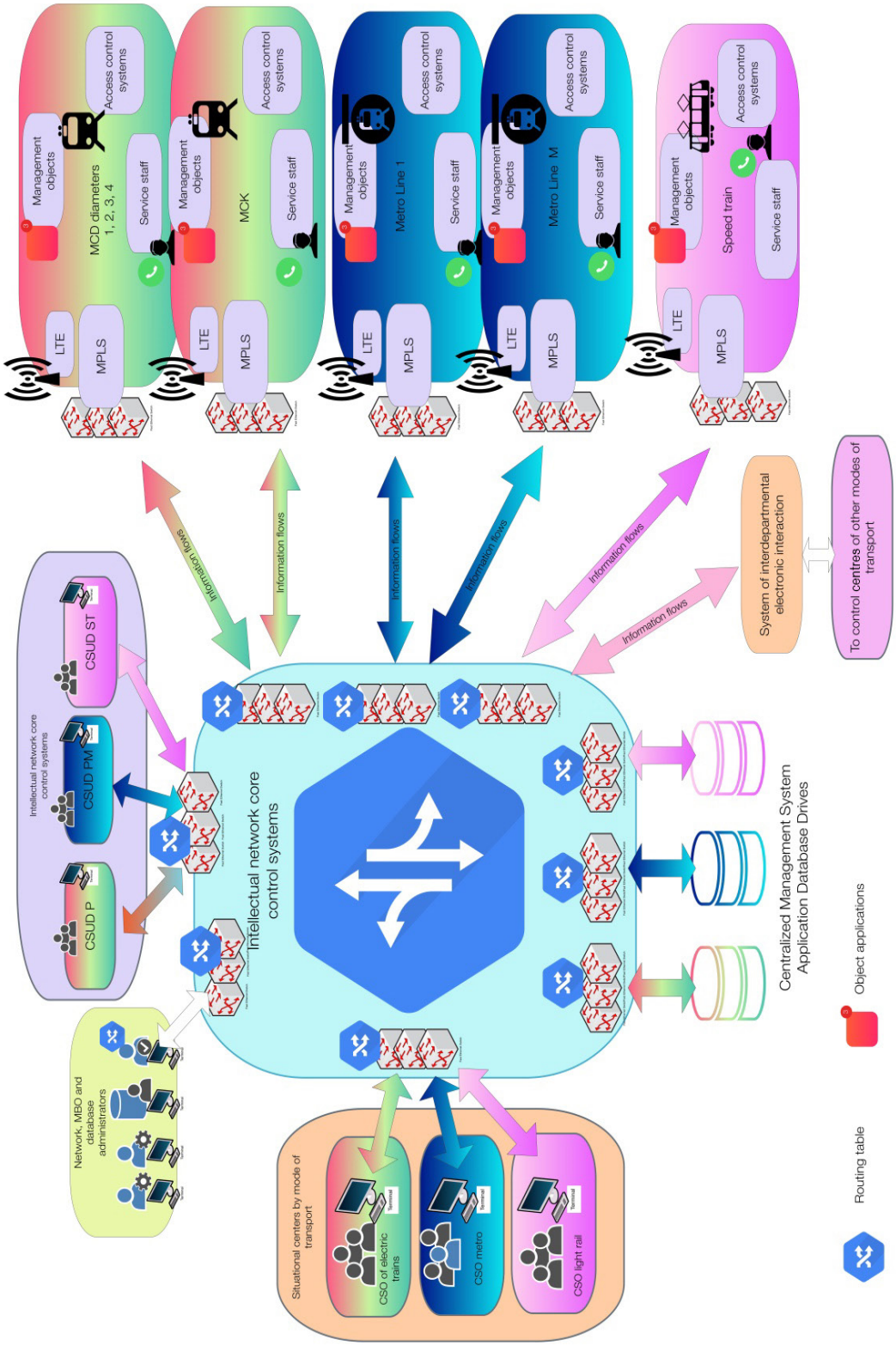
[4] Methodological document «Information protection measures in state information systems» (approved by the Federal Service for Technical and Export Control on February 11, 2014). [Electronic resource]: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70491518/. Last accessed 17.02.2021.

[5] Order of the Federal Service for Technical and Export Control of the Russian Federation of February 11, 2013 No. 17 «On approval of the Requirements for protection of information that does not constitute a state secret contained in state information systems» (as amended on April 27, 2020, version effective from 1 January 2021). [Electronic resource]: https://docs.cntd.ru/document/499002630. Last accessed 17.02.2021.

[6] Methodological document «Information protection measures in state information systems» (approved by the Federal Service for Technical and Export Control on February 11, 2014). [Electronic resource]: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70491518/. Last accessed 17.02.2021.

[7] Order of the Federal Service for Technical and Export Control of the Russian Federation of December 25, 2017 No. 239 On approval of requirements for ensuring security of significant objects of critical information infrastructure of the Russian Federation (as amended by Orders of the FSTEC of Russia dated August 9, 2018 No. 138, dated 26 March 2019 No. 60, dated February 20, 2020 No. 35). [Electronic resource]: https://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/obespechenie-bezopasnosti-kriticheskoj-informatsionnoj-infrastruktury/288-prikazy/1592-prikaz-fstek-rossii-ot-2517-degnabrya-239. Last accessed 17.02.2021.

[8] GOST R ISO 14813-1-2011. National Standard of the Russian Federation «Intelligent Transport Systems. Scheme of building the architecture of intelligent transport systems. Part 1. Service domains in the field of intelligent transport systems, service groups and services». [Electronic resource]: https://docs.cntd.ru/document/1200086739. Last accessed 17.02.2021.



Pic. 1. The architecture of CICS URTS (compiled by the authors).

level of centralized traffic control means of suburban rail transport within cities, metro, and high-speed trams.

The ICS core provides the necessary resources for each centre: dispatching pools by types of urban transport separately for each metro line, a section of suburban railway transit within cities (diameter or ring) and a section of a high-speed tram; database; servers; access to corporate *MPLS* networks deployed on metro lines, sections of suburban railway transit within cities (diameter or ring) and sections of high-speed tram routes.

Administrators of databases, applications of top-level control systems by modes of transport and administrators of the *MPLS* network and *4G (LTE)* cellular communication, as well as security administrators are connected to the core of CICS URTS. The core of CICS URTS provides organisation of isolated large-volume information flows between application servers of control systems, through the use of optical interfaces and implementation of a fully connected network directed to the objects of the lower level of control systems.

Let us consider operation of the network for control of electric train traffic of suburban rail transit within cities. The basic devices that ensure safe movement are MPC systems that control switches, signals, track circuits, crossings and other devices within the station, automatic blocking systems (AB) that monitor the state of the track circuit in the control mode, power supply systems, and infrastructure control systems (track, roadbed, rails). The high-speed train control system aggregates information from these systems on the servers of radio block centres to transmit it to the on-board control systems on rolling stock (using a secure protocol) via the 4G (*LTE*) wireless communication system, where speed limit values are calculated to ensure the braking distance.

To ensure the security requirements of the MPC system, dispatch centralisation (DC), AB manage objects using their own servers using special protocols. To ensure the mode of secure exchange of information between the servers of the radio blocking centre, a *MySQL* buffer database has been created in CCSETT. Information from the database is sent through the *MPLS* network to the core of the network of CICS URTS to the servers of the upper functional level of CCSETT.

The subsystems of the upper functional level of CCSETT use data coming from the infrastructure control system through the *MPLS* network. Infrastructure control systems collect information from track elements to determine speed limits due to the condition of the track superstructure, repair work, and the absence of illegal entry of objects, animals, people. To ensure high-speed delivery of control information from the subsystem of the upper functional level of CCSETT to the on-board control systems on rolling stock, a route is formed between the traffic control server of rolling stock and the controller on rolling stock in the core of the central control system of URTS. For management packets, priority is set to at least 5 (*QoS*). Packet delay time is not more than 20 μs.

The upper functional level of CCSMTT is built for each metro line. The network of CICS URTS control performs the following functions: connects the servers of the upper functional level of CCSMTT of each line, on the one hand, and on-board control systems on rolling stock (the lower level of CCSMTT), infrastructure access control systems (control of appearance of foreign objects, people and other obstacles: landslides, groundwater, etc.), the Ministry of Emergency Situations and fire alarm systems, systems for diagnosing the technical condition of automation and telemechanics devices (automatic locomotive signalling systems with automatic speed control (ALS-ARS) and DC, preventing speed excess and ensuring that the train stops at emergencies), rolling stock, power supply systems on the other hand.

To implement the upper functional level of CCSMTT on metro lines, a multi-service *MPLS* network has been deployed, the task of which is to integrate a 4G (*LTE*) wireless information transmission network for communication of on-board control systems on rolling stock and technological communication systems for service personnel, integration via optical channels with access control systems, traffic safety systems ALS-ARS, DC, technical diagnostics systems for power supply devices, automation and telemechanics located on the metro line.

To ensure the mode of priority delivery of information from the applications of the

servers of the upper functional level of CCSMTT, the isolated route mode (due to the full connectivity of the network objects) is implemented in ICS network core with a speed of 16 Mb/s (via an optical cable) and *QoS* mode in *MPLS* with a priority of at least 5, which ensures delivery of information from control servers to on-board control systems on rolling stock with a delay of no more than 20 μs.

Algorithms for maintaining the rolling stock of the metro and their parameters are determined at the upper functional level of CCSMTT, considering the current technical condition of the infrastructure and rolling stock, as well as the restraints formed by traffic safety systems.

Let's consider operation of the network for control of high-speed tram traffic. The connection between the on-board control systems on the high-speed tram and the upper functional level of CCSHSTT is carried out over *LTE* network through the corporate *MPLS* network. The location of the tram is determined based on a high-precision coordinate network and a digital track model, which provide high-speed tram positioning accuracy. The assessment of the state of the track is carried out using video cameras installed along the lines of movement. Based on the information received, speed limits or a signal to stop the train are generated. The required speed of information delivery from the upper functional level of CCSHSTT is ensured by setting priorities for control packets and an isolated route in the network core of CICS URTS.

ICS application-level structure

Let's consider the features of implementation of applications, their management, and their interaction with databases.

When creating CICS URTS, it is necessary to consider several bottlenecks in terms of storage of automation and interaction with external systems:

• storage and processing of information, which is necessary for functioning of CICS URTS. This information is collected in a large number of third-party automated systems. The existing automated systems use various technologies, interfaces, architecture;

• individual implementation of information exchange between automated control systems (ACS) of third-party developers;

• reliability of data stored in various ACS is not always ensured by appropriate technologies and procedures for logical data control;

• available ACS provide only operational data storage, long-term accumulation of information during the entire life cycle of control objects is not performed, which makes it difficult or impossible to effectively use predictive analytics tools, machine learning, etc.

To eliminate these restrictions and create CICS URTS, the following tasks should be solved:

• determination of the range of digital technologies that allow accumulating and analysing significant amounts of information from vehicles and infrastructure facilities in order to provide a flexible approach to the technical operation of URTS, technological equipment and engineering structures;

• development of data schemes, ensuring their storage in the structure of the distributed data warehouse of CICS URTS;

• creation of a distributed data warehouse for CICS URTS using big data technologies and a distributed register intended for joint use of CICS URTS and external data providers;

• creation of a mechanism for entering data into a distributed storage based on a unified *API*-interface on the initiative of adjacent automated control systems upon the appearance of data in them required by CICS URTS;

• creation of the possibility of entering data from on-board systems in real time.

• creation of functionality:

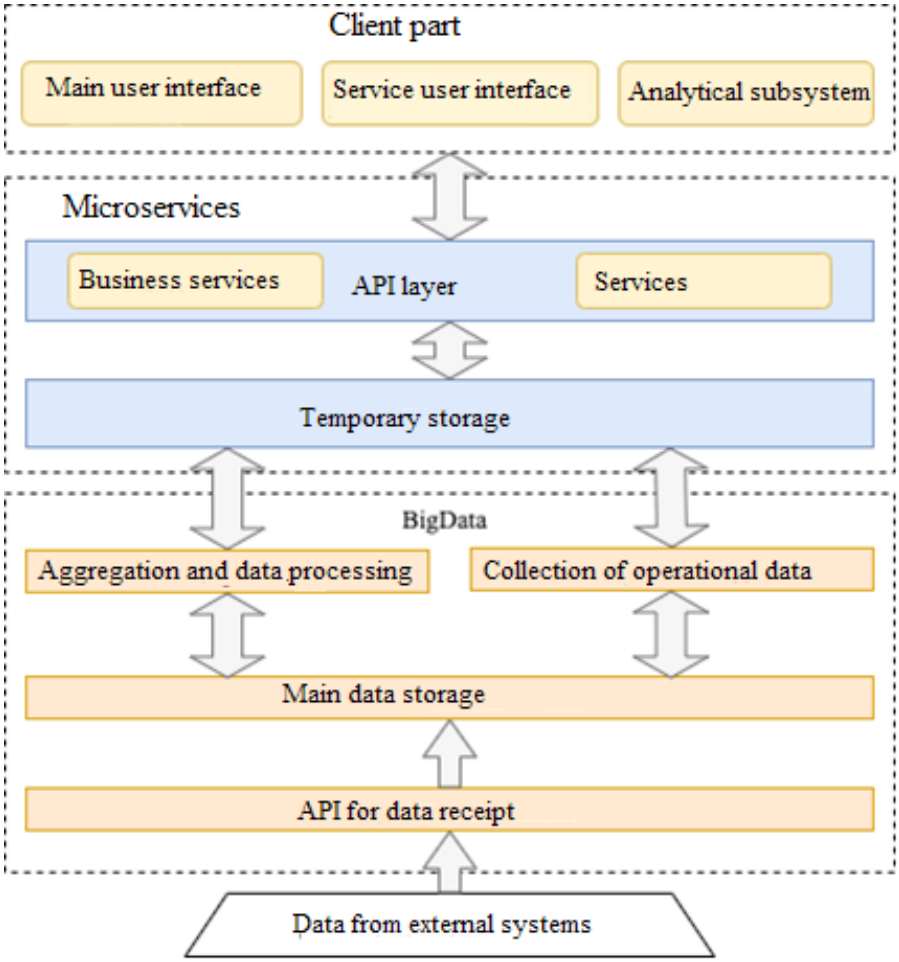
– logical control of data entering CICS URTS;

– management of conflicts and errors detected when data is received;

– visualisation of data stored in a distributed storage;

– ensuring the possibility of early identification of risks in management of maintaining the technical readiness of human and technical resources of URTS through adoption of modern analytical methods of statistical processing and machine learning;

– implementation of information services in the interests of consumers of information about URTS.



Pic. 2. The architecture of the system for collecting and processing a large amount of data for the implementation of CICS URTS (compiled by the authors).

Architecture of CICS URTS software

The authors have developed an architecture and set requirements for construction of a heterogeneous system for collecting and processing a large array of information coming from various sources, considering certain tasks.

Two architectures were taken as a basis for building a system for working with big data: *lambda* and microservice (MS).

The architecture consists of three main blocks (Pic. 2):

• client part – services used by external clients;

• microservices – services that process requests from the client and interact with temporary storage;

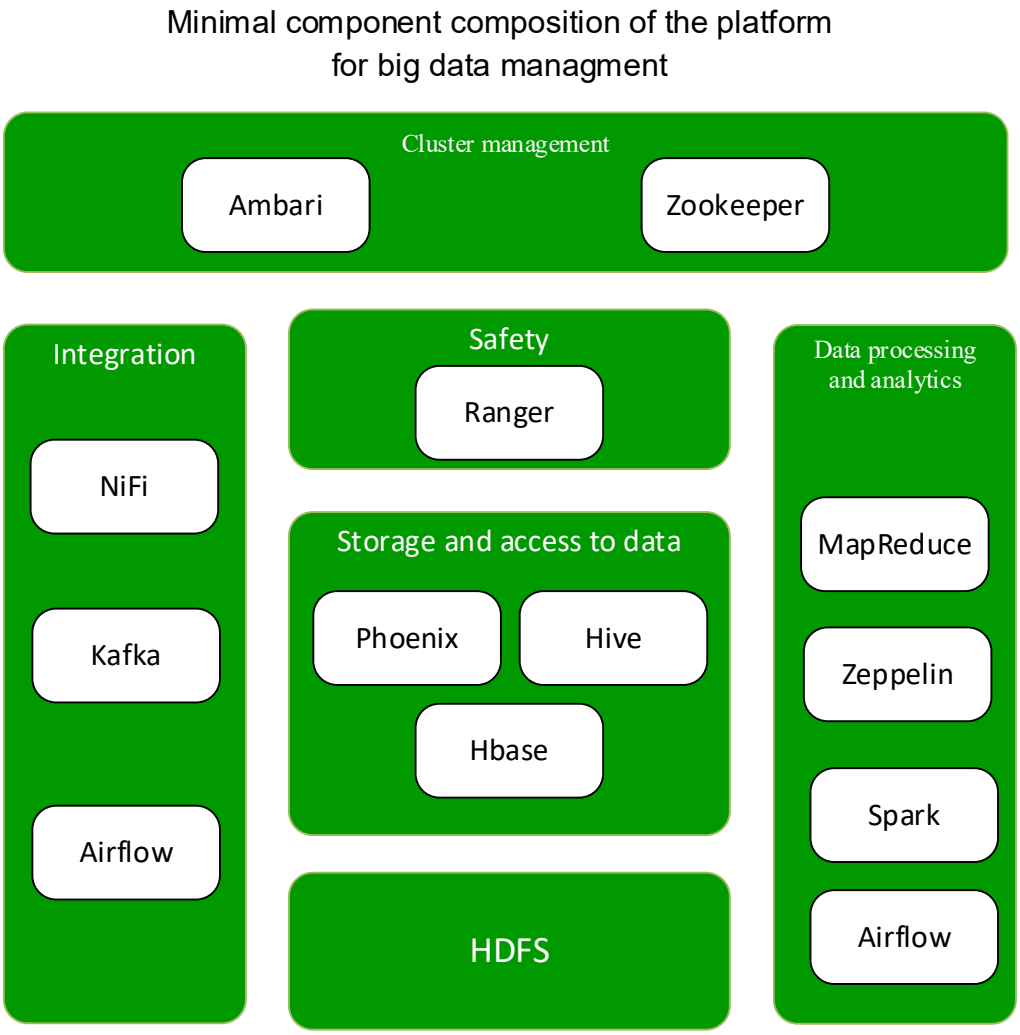
• *BigData* – main storage with large data volumes that require significant resources for use and maintenance [14–18].

In the client part of the system, methods of interaction are implemented through the main and service user interface. The main user interface includes reporting forms for various business areas of the system. The service user interface includes subsystems for monitoring the general state of the system and provides direct access through the *web* interface to data for solving intelligent tasks.

The microservice part [19] consists of layers, each of which has its own logical level:

• *API* layer works directly with requests coming from the client part and requests the necessary data from the temporary storage. The *API* layer includes service and business modules.

• temporary storage – data storage with calculation results, operational data and user data. Technologies used: *MongoDB* [20] and *CouchDB* [21].



Pic. 3. Program composition of CICS URTS (compiled by the authors).

Big Data part consists of layers, each of which has its own logical level:

• aggregation and data processing – the service calculates features and forecasts based on the data received in the main storage;

• collection of operational data – an *API* service for transferring operational data to a temporary storage;

• main data storage – distributed file storage built using *HBase* [22] and *HDFS* [23] technologies;

• *API* for receiving data – a service for receiving data from external systems, built using *NiFi* technology [24].

The software environment can include (Pic. 3):

• *Unix* like operating system;

• *Ambari* – deployment and administration of *Hadoop* cluster [25];

• *Zookeeper* – a service that provides distributed synchronization of namespace configuration information for a group of applications used [26];

• *Ranger* – a module that provides central management of access control to files, folders, databases, tables [27];

• *NiFi* – a unified interface for collecting information from external systems [24].

• *Kafka* – queue manager [28];

• *Airflow* – a library for planning and monitoring workflows [29];

• *Phoenix* – declarative *SQL* syntax applied to the *HBase* database [30];

• *HBase*, *Hive* – distributed storage and synchronization of big data [25];

• *MapReduce* – a distributed computing technology used for parallel computing on large (up to several petabytes) datasets in computer clusters [31];

• *Zeppelin* – visualization and analytics of big data [32];

• *Spark* – a framework for distributed batch and stream processing of unstructured and semi-structured data [33];

• *HDFS* – distributed storage of big data files [25].

The system should provide the ability to store data from URTS during the entire life cycle of both the object itself and related objects. Data are not deleted and accumulated, forced cleaning is not provided. The possibility of data archiving is allowed.

The response speed of CICS URTS should be:

• for navigation operations on the screen forms of the system – no more than 5 seconds;

• for operations of generating reports – no more than 5 minutes.

The system should ensure that the following changes are applied:

• addition of new enterprises – users (functional customers) of CICS URTS;

• change of data sets coming from URTS.

The system must have open interfaces for development (modernization) and integration.

The system should provide the ability to gradually build up its functionality, including:

• replacement of hardware and system software, subject to compliance with the requirements specified in the documentation for standard and supplied software;

• expanding the functionality of the system in terms of development of new modules and subsystems, as well as integration with the developed automated and information systems.

Requirements for the modes of operation of the system are determined for the main (standard) mode of operation, in which the equipment, which constitutes a set of technical means, works properly, and the system, basic and application software functions properly; limited functionality mode (emergency mode); schedule of routine maintenance.

Reduced functionality mode is characterized by the failure of one or more software and/or hardware components. At the same time, the limited operability of the system for fulfilling the functional purpose remains. This can be caused by a communication failure or hardware and software failures, which cannot be compensated for by means of redundancy.

The routine maintenance mode is intended for carrying out repair and maintenance works and software modernization. In this mode, temporary (planned) unavailability of the productive system for users is allowed. The regulations for the transition from one mode of operation to another, as well as instructions for the personnel of the system for working in each of the above modes and for actions during the transition from one mode to another should be described in the operational documentation.

The requirements for diagnosing the system are that there should be tools for diagnosing operability of the main processes of the system and identifying events that are important from the point of view of functioning of the information system. This toolkit should provide the necessary monitoring of functioning of the information system by maintaining specialised registers (log files).

Complex monitoring of functioning of the information system is carried out by a combination of the following methods:

• standard monitoring of the information system – monitoring hardware resources, monitoring operability of processes and services;

• monitoring the availability of URL-links;

• monitoring of records in the log files of the information system, which have a standardized and documented structure;

• monitoring the content of the service tables of the information systems database;

• monitoring of messages received from the information system via the SNMP protocol to the monitoring servers, with an IP address set parametrically;

• other diagnostic methods agreed with the accompanying personnel and administrators of the monitoring system.

In case of emergencies or software errors, diagnostic tools should be able to store the complete set of information necessary to identify the problem.

The function of issuing reports on the system operation should be provided.

CONCLUSIONS

As a result of the study, it was proposed to use organisation of secure information flows for CICS URTS based on tags and implementation of a fully connected core of the system network.

The full connectivity of the core allows increasing speed of information exchange, dividing flows between ICS applications by protocol types and creating temporary trusted information flows with a minimum set of features, making it difficult to organize secret information transmission channels.

Implementation of CICS URTS network using a fully connected core and optical channels allows connecting *MPLS* network of the upper-level control subsystems with CICS URTS core by a local fully connected segment, which increases safety and volumes of information transmitted from the lower-level peripheral equipment.

The software architecture proposed by the authors will make it possible to organize the efficient operation of CICS URTS from the point of view of the processes of storing, receiving, and processing data. Including, given the fact that the system at the software level includes a microservice architecture, it allows for ease of maintenance, development, and deployment. Microservice architecture has proven its worthiness in development of an integrated model of the metro line and creation on its basis of a wide range of control, planning, optimisation and training tools [34–36], as well as in creation of the «Trusted environment of the locomotive complex» system [37].

REFERENCES

1. Vakulenko, S. P., Romensky, D. Yu., Mnatsakanov, V. A., Dorokhov, A. V., Vlasov, D. N. Development of options for modernisation of Moscow monorail transit system [*Razrabotka variantov modernizatsii Moskovskoi moorelsovoi transportnoi sistemy*]. *Metro i tonneli*, 2020, Iss. 4, pp. 28–36. [Electronic resource]: https://hutor.info/wp-content/uploads/2020/12/2_533227896687716185 3.pdf. Last accessed 14.02.2021.

2. Shevlyugin, M. V., Korolev, A. A., Golitsyna, A. E., Pletnev, D. S. Electric stock digital twin in a subway traction power system. *Russian Electrical Engineering*, 2019, Vol. 90, Iss. 9, pp. 647–652. DOI: 10.3103/S1068371219090098. Last accessed 14.02.2021.

3. Pavlovsky, A. A., Okhotnikov, A. L. Information transport situation [*Informatsionnaya transportnaya situatsiya*]. *Nauka i tekhnologii zheleznykh dorog*, 2018, Vol. 2, Iss. 6, pp. 16–24. [Electronic resource]: http://www.vniias.ru/images/img/online_journal/pdf/02_2018/2_2018.pdf. Last accessed 14.02.2021.

4. Atroshchenko V. A., Rudenko M. V., Dyachenko R. A., Bagdasaryan R. Kh. On the issue of assessing the reliability of information to prevent mitm attacks when transmitting classified information through open communication channels [*K voprosu otsenki dostovernosti informatsii dlya predotvrashcheniya mitm-ataki pri peredachi zakrytoi informatsii po otkrytym kanalam svyazi*]. *Sovremennie problemy nauki i obrazovaniya*, 2013, Iss. 3, pp. 82–82. [Electronic resource]: https://science-education.ru/pdf/2013/3/375.pdf. Last accessed 14.02.2021.

5. Sudhir, Udipi. The event data management problem: getting the most from network detection and response. *Network Security*, January 2021, Vol. 2021, Iss. 1, pp. 12–14. DOI: https://doi.org/10.1016/S1353-4858(21)00008-8.

6. Halpin, T., Morgan, T. Information Modelling and Relational Databases (Second Edition). The Morgan Kaufmann Series in Data Management Systems 2008, 976 p. DOI: 10.1016/B978-0-12-373568-3.X5001-2.

7. Yue, Zeng; Ye, Baoliu; Tang, Bin; Guo, Songtao; Qu, Zhihao. Scheduling coflows of multi-stage jobs under network resource constraints. *Computer Networks*, January 12, 2021, Vol. 184, pp. 107686. DOI: 10.1016/j.comnet.2020.107686.

8. Wenstrom, M. Managing Cisco Network Security First Edition. Moscow, Publishing house Williams, 2005, 768 p.

9. Kharitonova, E. V. Graphs and networks [*Grafy i seti*]. Ulyanovsk, UlGTU publ., 2006, 92 p. [Electronic resource]: https://www.studmed.ru/haritonova-ev-grafy-i-seti_9d47b8a399b.html. Last accessed 14.02.2021.

10. Kuzyukov, V. A., Novikov, V. G., Safronov, A. I. Microprocessor control systems for movement of trains in Moscow metro [*Mikroprotsessornie sistemy upravleniya dvizheniem poezdov v Moskovskom metropolitene*]. *Avtomatika na transporte*, 2020, Vol. 6, Iss. 3, pp. 268–293. [Electronic resource]: https://cyberleninka.ru/article/n/mikroprotsessornye-sistemy-upravleniya-dvizheniem-poezdov-v-moskovskom-metropolitene/pdf. Last accessed 14.02.2021.

11. Devyanin, P. N. Models of safety of computer systems [*Modeli bezopasnosti kompyuternykh sistem*]. Moscow, Goryachaya liniya-Telecom publ., 2018, 338 p.

12. Zhang, Shunliang; Zhu, Dali. Towards artificial intelligence enabled 6G: State of the art, challenges, and opportunities. *Computer Networks*, December 24, Vol. 183, pp. 107556. DOI: 10.1016/j.comnet.2020.107556.

13. Mei, Lifan; Hu, Runchen; Cao, Houwei; Liu, Yong; Han, Zifa; Li, Feng; Li, Jin. Realtime Mobile Bandwidth Prediction Using LSTM Neural Network. In: Choffnes D., Barcellos M. (eds) Passive and Active Measurement. PAM 2019. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 11419. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15986-3_3.

14. Kalipe, G. K., Behera, R. K. Big Data Architectures: A detailed and application-oriented review. *Int. Journal Innov. Technol. Explor. Eng.*, 2019, Vol. 8, pp. 2182–2190. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/profile/Rajat-Behera/publication/336915402_Big_Data_Architectures_A_detailed_and_application_oriented_review/links/5dba7a2e4585151435d62a79/Big-Data-Architectures-A-detailed-and-application-oriented-review.pdf. Last accessed 14.02.2021.

15. Thurner, T. Big Data Europe for Smart, Green and Integrated Transport [Electronic resource]: https://www.w3.org/community/bde-transport/files/2015/11/Big-Data-for-Smart-Green-and-Integrated-Transport-Workshop-Final-Report.pdf. Last accessed 14.02.2021.

16. Avdeeva, I. L. Analysis of foreign experience in the use of global technologies «Big Data» [*Analiz zarubezhnogo opyta ispolzovaniya globalnykh tekhnologii «Big Data»*]. *Internet journal «Naukovedenie»*, 2016, Vol. 8, Iss. 6, pp. 1–11. [Electronic resource]: http://naukovedenie.ru/PDF/13EVN616.pdf. Last accessed 14.02.2021.

17. Bik, R. Application of Big Data in transport planning [*Primenenie Big Data v transportnom planirovanii*]. [Electronic resource]: https://transport.mos.ru/common/upload/docs/1500293313_Moovit_Moscow_International_Transport_Expert_Council_R.pdf. Last accessed 14.02.2021.

18. Big Data technology in transport. How big data has become a valuable asset in transportation. Domestic

DBMS Tarantool in a big data analytics project [*Tekhnologiya Big Data na transporte. Kak na transporte bolshie Dannie prevratilis v tsenniy aktiv. Otechestvennaya SUBD Tarantool v proekte analitiki bolshikh dannykh*]. [Electronic resource]: https://tygeza.ru/tehnologiya-big-data-na-transporte-kak-na-transporte-bolshie-dannye.html. Last accessed 14.02.2021.

19. O'Connor, R. V., Elger, P., Clarke, P. M. Continuous software engineering – A microservices architecture perspective. *Journal of Software: Evolution and Process,* 2017, Vol. 29, Iss. 11, pp. e1866. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/profile/Rory-Oconnor-4/publication/316009873_Continuous_software_engineering-A_microservices_architecture_perspective/links/5a26bc4e4585155dd423eecc/Continuous-software-engineering-A-microservices-architecture-perspective.pdf. Last accessed 14.02.2021. DOI: 10.1002/smr.1866.

20. Boicea, A., Radulescu, F., Agapin, L. I. MongoDB vs Oracle-database comparison. 2012 3rd International Conference on Emerging Intelligent Data and Web Technologies. IEEE, 2012, pp. 330–335. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/profile/Alexandru-Boicea/publication/261040647_MongoDB_vs_Oracle_--_Database_Comparison/links/55c2132b08aebc967defd053/MongoDB-vs-Oracle--Database-Comparison.pdf. Last accessed 14.02.2021. DOI: 10.1109/EIDWT.2012.32.

21. CouchDB. Apache CouchDB. [Electronic resource]: https://couchdb. apache.org. Last accessed 14.02.2021.

22. Vora, M. N. Hadoop-HBase for large-scale data. Proceedings of 2011 International Conference on Computer Science and Network Technology. IEEE, 2011, Vol. 1, pp. 601–605. DOI: 10.1109/ICCSNT.2011.6182030.

23. Shvachko, K., Kuang, H., Radia, S., Chansler, R. The Hadoop Distributed File System. 2010 IEEE 26th symposium on mass storage systems and technologies (MSST). IEEE, 2010, pp. 1–10. DOI: https://doi.org/10.1109/MSST.2010.5496972.

24. Kim, S.-S., Lee, W.-R., Go, J.-H. A Study on Utilization of Spatial Information in Heterogeneous System Based on Apache NiFi. 2019 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC). IEEE, 2019, pp. 1117–1119. DOI: 10.1109/ICTC46691.2019.8939734.

25. Venner, J., Wadkar, Sameer; Siddalingaiah, Madhu. Pro Apache Hadoop. Apress, Berkeley, CA, 2014, pp. 399–401. DOI: 10.1007/978-1-4302-4864-4_9.

26. Hunt, P., Konar, M., Junqueira, F. P., Reed, B. ZooKeeper: Wait-free Coordination for Internet-scale Systems. USENIX annual technical conference, 2010, Vol. 8, Iss. 9, pp. 1–14. [Electronic resource]: https://www.usenix.org/legacy/events/atc10/tech/full_papers/Hunt.pdf. Last accessed 14.02.2021.

27. Gupta, M., Patwa, F., Sandhu, R. An Attribute-Based Access Control Model for Secure Big Data Processing in Hadoop Ecosystem. Proceedings of the Third ACM Workshop on Attribute-Based Access Control, 2018, pp. 13–24. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/profile/Maanak-Gupta/publication/323785048_An_Attribute-Based_Access_Control_Model_for_Secure_Big_Data_Processing_in_Hadoop_Ecosystem/links/5ab0253b0f7e9b4897c1d52b/An-Attribute-Based-Access-Control-Model-for-Secure-Big-Data-Processing-in-Hadoop-Ecosystem.pdf. Last accessed 14.02.2021. DOI: 10.1145/3180457.3180463.

28. Wang, Guozhang; Koshy, Joel; Subramanian, Sriram; Paramasivam, Kartik; Zadeh, Mammad; Narkhede, Neha; Rao, Jun; Kreps, Jay; Stein, Joe. Building a replicated logging system with Apache Kafka. Proceedings of the VLDB Endowment, 2015, Vol. 8, Iss. 12, pp. 1654–1655. DOI: 10.14778/2824032.2824063.

29. Singh, P. Airflow. Learn PySpark. Apress, Berkeley, CA, 2019, pp. 67–84. [Electronic resource]: https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-1-4842-4961-1.pdf. Last accessed 14.02.2021.

30. Akhtar, S., Magham, R. Using Phoenix. Pro Apache Phoenix. Apress, Berkeley, CA, 2017, pp. 15–35. [Electronic resource]: https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-1-4842-2370-3.pdf. Last accessed 14.02.2021.

31. Condie, T., Conway, N., Alvaro, P., Hellerstein, J., Elmeleegy, K., Sears, R. MapReduce Online. Conference: Proceedings of the 7th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation, NSDI 2010, San Jose, CA, USA, April 28–30, 2010, Vol. 10, Iss. 4, pp. 313–328. [Electronic resource]: https://www.usenix.org/legacy/events/nsdi10/tech/full_papers/condie.pdf. Last accessed 14.02.2021.

32. Cheng, Yanzhe; Liu, Fang; Jing, Shan; Xu, Weijia; Chau, Duen Horng. Building Big Data Processing and Visualization Pipeline through Apache Zeppelin. PEARC'18: Proceedings of the Practice and Experience on Advanced Research Computing, 2018, pp. 1–7. DOI: 10.1145/3219104.3229288.

33. Zaharia, M. [*et al*]. Apache spark: a unified engine for big data processing. Communications of the ACM 59.11, 2016, pp. 56–65. DOI: 10.1145/2934664.

34. Baranov, L. A. Balakina, E. P., Erofeev, E. V., Sidorenko, V. G. Multifunctional models of control systems [*Mnogofunktsionalnie modeli sistem upravleniya*]. *Izvestiya vysshykh uchebnykh zavedenii. Problemy poligrafii i izdatelskogo dela*, 2012, Iss. 2, pp. 79–82. [Electronic resource]: https://publications.hse.ru/mirror/pubs/share/folder/54otctuizr/direct/118351222.pdf. Last accessed 14.02.2021.

35. Sidorenko, V. G., Zhuo, M. A. Investigation of the possibility of applying genetic algorithms to solving problems of planning operation of metro electric rolling stock [*Issledovanie vozmozhnosti primeneniya geneticheskikh algoritmov k resheniyu zadach planirovaniya raboty elektropodvizhnogo sostava metropolitena*]. *Elektronika i elektrooborudovanie transporta*, 2017, Iss. 6, pp. 37–40. [Electronic resource]: https://publications.hse.ru/mirror/pubs/share/direct/213900236.pdf. Last accessed 14.02.2021.

36. Kulba, V. V., Kovalevsky, S. S., Kosyachenko, S. A., Kuznetsov, N. A. Methods of analysis and synthesis of modular information and control systems [*Metody analiza i sinteza modulnykh informatsionno-upravlyayushchikh sistem*]. Moscow, Fizmatlit publ., 2002, 800 p. [Electronic resource]: http://bookfi.net/book/1471957. Last accessed 14.02.2021.

37. Kharin, O. V., Yakimov, S. M., Kulagin, M. A., Gonik, M. M., Khludeev, M. A., Yaroshchuk, D. I. Automated system trusted environment of the locomotive complex (2019). Certificate of registration of the computer program RU 2020613754, 23.03.2020 [*Avtomatizirovannaya Sistema doverennaya sreda dlya lokomotivnogo kompleksa (2019). Svidetelstvo o registratsii programmy dlya EVM RU 2020613754, 23.03.2020*]. [Electronic resource]: https://www.elibrary.ru/item.asp?id = 42709956. Last accessed 14.02.2021.

Acknowledgments. The research was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research, NTU Sirius, JSC Russian Railways and the Educational Foundation «Talent and Success» in the framework of scientific project No. 20-37-51001.

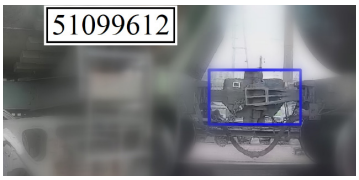
НАУКА И ТЕХНИКА • SCIENCE AND ENGINEERING

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ 48

Нанотехнологии поверхностного упрочнения и продление ресурса железнодорожного колеса.

ЦИФРОВАЯ СТАНЦИЯ 60

Слияние данных как шаг к единой цифровой платформе.



ПОДКЛЮЧЕННЫЕ АВТОМОБИЛИ 74

Новые возможности для пользователей, бизнеса и органов управления за счёт компьютерного зрения и искусственного интеллекта.

ROLLING STOCK 54

Nanotechnology of surface hardening for extending service life of railway wheel.



DIGITAL RAIL STATION 67

Data fusion as a step to single digital platform.

CONNECTED CARS 83

New opportunities for customers, business and administration thanks to computer vision and artificial intelligence.

УДК 625.032.37
DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-1-48-59

Повышение живучести железнодорожного колеса за счет применения поверхностно-упрочняющих технологий



Бунькова Тамара Геннадьевна *– Омский государственный университет путей сообщения, Омск, Россия*.*

Тамара БУНЬКОВА

В статье представлены поверхностно-упрочняющие технологии применительно к цельнокатаным колёсам подвижного состава. Полученные результаты теоретического исследования процесса упрочнения металла колеса позволят разработать научно обоснованные технологические и технические решения по предупреждению образования и развития дефектов на поверхности катания, а также их устранению в ремонтном производстве.

Цель настоящей работы заключается в установлении оптимального метода поверхностного упрочнения поверхности железнодорожного колеса с дефектами.

В настоящее время всё острее ощущается вопрос повышения живучести элементов, ответственных узлов и деталей подвижного состава. В связи с ограниченной экономической целесообразностью и ограниченной доступностью имеющихся производственных технологий возникает необходимость создания нового материала, модифицированного нанокластерами и упрочнённого поверхностно-активными веществами.

Нанокластеры обладают высокими показателями пластичности и твёрдости. Для определения значения твёрдости наноматериалов используется метод измерения твёрдости по Виккерсу, при котором твёрдость определяется размером отпечатка после снятия нагрузки с алмазной пирамидки.

У наноструктур наблюдается сверхпластичность. Для никеля и сплава никеля с алюминием $NiAl_3$ низкотемпературная сверхпластичность отмечается в интервале температур 450–470°С, что в три раза меньше их температуры плавления [1].

Ключевые слова: железная дорога, железнодорожное колесо, дефекты, химический анализ, механические свойства, поверхностное упрочнение, живучесть, наноинженерия.

---

*Информация об авторе:
Бунькова Тамара Геннадьевна – старший преподаватель кафедры вагонов и вагонного хозяйства, инженер кафедры технологий транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС), Омск, Россия,
✉ bunkovatg@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 18.01.2021, принята к публикации 26.02.2021.

For the English text of the article please see p. 54.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из главных способов получения функциональных материалов в наноинженерии являются порошковые материалы. Методы получения на поверхности материалов металлических, модифицированных слоёв широко известны в различных областях машиностроения. Большинство из этих методов рассматриваются как методы нанотехнологий, которые позволяют создать наноструктурные слои на поверхности материала, деталей и их узлов. Также данный метод предполагает создание модифицированных нанокомпозитных материалов в виде нано- и микроизделий.

Поверхностно-упрочняющие методы:

• технологии, основанные на физических процессах;

• технологии, основанные на химических процессах.

Самые распространённые технологии поверхностно-упрочняющей обработки:

• PVD технологии;

• CVD технологии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

PVD технология – технология упрочняющих покрытий, основанная на физическом осаждении из паровой фазы [2].

PVD технология основывается на технологическом процессе физических явлений, в результате которого материал переходит из твёрдого состояния в жидкую фазу в результате испарения под воздействием тепловой энергии или же в результате распыления за счёт кинетической энергии столкновения частиц материала, после пучок полученной газовой фазы при помощи электромагнитного поля транспортируется к упрочняющейся поверхности, нагретой не более 500°С, в результате этого ионизированный материал сталкивается и равномерно конденсируется на упрочняющейся поверхности.

Основные типы PVD покрытий и их свойства:

• нитрид титана TiN является универсальным покрытием для низкоуглеродистых сталей, увеличивает срок службы детали или узла, выполняя роль механической, термической и химической защиты между поверхностями трения;

• карбонитрид титана TiCN повышает производительность деталей и узлов, обеспечивает по сравнению с нитридом титана более высокие механические свойства обработанной поверхности;

• алюминий-титан-нитрид AlTiN является покрытием с уникальной нанокомпозитной структурой, повышает твёрдость, термостойкость и сопротивление ударным нагрузкам. Отличные результаты испытаний однозначно указывают на увеличение службы срока детали или узла;

• алюминий-хром-нитрид AlCrN имеет уникальную нанокристаллическую решётку, которая заметно повышает твёрдость и жаропрочность. Лучше всего применять там, где требуется равномерный износ, сопротивление сколам благодаря высокой термостойкости и большой производительности в тяжёлых условиях эксплуатации.

Преимущества:

• нанесение тугоплавкого материала при относительно низкой температуре, более щадящий режим воздействия на металл упрочняемой детали;

• небольшая толщина слоя при равных эксплуатационных характеристиках.

Недостатки:

• процесс физического осаждения производится в вакууме и является несравнимо более дорогим, т.к. предполагает использование дорогой аппаратуры, требующей высококвалифицированного персонала [3].

Суть метода покрытия CVD заключается в создании тонкой плёнки TiC на поверхности упрочняемой детали, что позволяет, не изменяя внутреннюю структуру сплава, повысить твёрдость и скорость обработки. Эта идея получила развитие путём применения нитрида титана и оксида алюминия.

В основе метода лежит процесс, в результате которого в камере, в которой поддерживается температура до 1200°С, материал покрытия подаётся в паровом агрегатном состоянии и под действием высоких температур взаимодействует с упрочняемой поверхностью.

Основные свойства покрытий:

• карбид титана TiC повышает износостойкость, предотвращает появление сколов;

• нитрид титана предотвращает формирование заусенцев и налипание на обрабатываемую поверхность, повышая качество технологического процесса;

Таблица 1

Механические свойства стали обода колеса (выполнено автором)

Марка стали колеса	Временное сопротивление, Н/мм² (кгс/мм²)	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %	Твёрдость, НВ
		Не менее		
1	882–1078 (90–110)	12	21	248
2	911–1107 (93–113)	8	14	255

Таблица 2

Химический состав стали дефектного колеса по отколу (выполнено автором)

C	Mn	Si	P	S
0,52	0,85	0,25	0,035	0,04

Таблица 3

Химическое содержание металла в зоне навара (выполнено автором)

C	Mn	Si	Cr	P	S
0,53	0,85	0,23	0,06	0,035	0,04

• оксид алюминия Al_2O_3 значительно увеличивает стойкость к высоким температурам, препятствует критическому нагреву, является хорошим термоизолятором.

Преимущества:

• относительная простота и дешевизна процесса;

• создание покрытий конкретной толщины;

• возможность создания сложных, многослойных покрытий с уникальными свойствами и различным количеством комбинаций этих слоёв.

Недостатки:

• сильный нагрев обрабатываемой поверхности в процессе нанесения покрытия для получения адгезии, под влиянием сильного нагрева прочность основного материала снижается;

• химикаты, используемые для процесса покрытия детали, и побочные продукты являются токсичными, огнеопасными и разъедающими веществами;

• высокая стоимость материала.

Для того чтобы оценить целесообразность рассмотренной технологии, необходимо чётко понимать, какие именно мы преследуем цели, когда используем понятия производительность и живучесть. В первую очередь это нейтрализация дефектов, в число которых входят:

• отколы в зоне обода колеса;

• выщербины на поверхности катания;

• навар на поверхности катания;

• ползуны;

• излом обода колеса.

При этом механические свойства стали обода железнодорожного колеса после операций упрочняющей обработки должны соответствовать нормативным значениям (табл. 1) [4–8].

Причиной отколов в зоне обода колеса служит в основном отделение металла обода нижележащих слоёв, что указывает на наличие сдвигающих напряжений, которые превышают предел прочности металла.

Произведённый химический анализ дефектного колеса (табл. 2) показывает, что его состав соответствовал требованиям колёсной стали по ГОСТ 10791-2011[1].

Выщербина на поверхности катания появляется вследствие отслаивания или выкрашивания металла, что происходит из-за больших контактных напряжений между рельсом и поверхностью катания.

Навар на поверхности катания появляется вследствие механического, а также большого термического воздействия на поверхность катания во время торможения подвижного состава.

Произведённый химический анализ лепестков наволакиваемого металла показывает пониженное содержание углерода и марганца в сравнении с исходным содержанием указанных элементов в колёсной стали. Можно предположить, что при высоком нагреве металла в процессе торможения происходит выгорание указанных элементов. Данные химического анализа приведены в табл. 3.

Ползуны появляются вследствие заклинивания (юза) колёсной пары на поверх-

[1] ГОСТ 10791-2011. Колёса цельнокатаные. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2011. – 32 с.

Таблица 4

Механические свойства дефектного обода (выполнено автором)

Марка стали колеса	Временное сопротивление, кг/мм²	Предел текучести, кг/мм²	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %	Ударная вязкость, кгм/см²
1	105,0	93,0	10,0	18,2	1,75
2	110,6	95,0	11,6	19,0	1,5



Рис. 1. Основные зоны распределения твёрдости по сечению и на поверхности катания обода (выполнено автором).

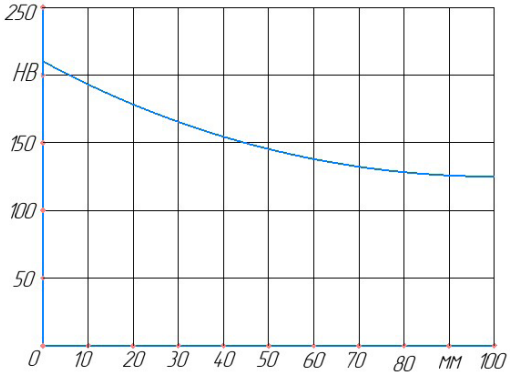


Рис. 2. Кривая зависимости твёрдости по глубине металла в зоне сечения а (выполнено автором).

ности катания, механическая причина юза заключается в разрушительном трении.

Излом обода колеса может происходить из-за производственного дефекта, либо из-за постепенного усталостного разрушения металла колеса, механические свойства материала обода представлены в табл. 4.

Цель настоящей работы заключается в установлении оптимального метода поверхностного упрочнения поверхности железнодорожного колеса с дефектами.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Были проведены замеры твёрдости материала колеса по зонам сечения *а, б, в* (рис. 1)[2]. В результате были получены кривые зависимости твёрдости по глубине металла в зонах сечения до поверхностного упрочнения (рис. 2–4) и после, по которым очевидна целесообразность применения поверхностно-упрочняющих методов обработки.

Повышение хрупкости в процессе эксплуатации объясняется присутствием большого количества неметаллических включений, понижающих плотность металла поверхностных слоёв при длительном торможении.

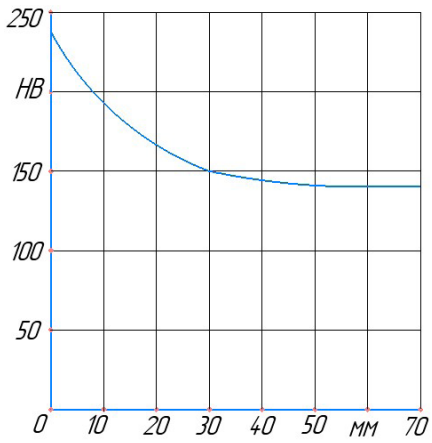


Рис. 3. Кривая зависимости твёрдости по глубине металла в зоне сечения б (выполнено автором).

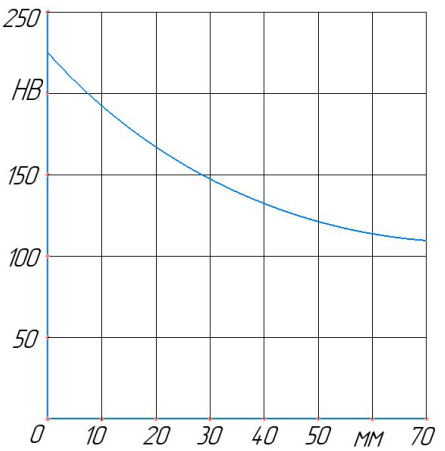


Рис. 4. Кривая зависимости твёрдости по глубине металла в зоне сечения в (выполнено автором).

[2] ГОСТ 9036-88. Колёса цельнокатаные. Конструкция и размеры. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 16 с.

Таблица 5

Контроль твёрдости колеса (выполнено автором)

№ образца	Твёрдость образцов НВ, кгс/мм²	Место измерения твёрдости
1	331–375	В зоне осевой линии круга катания колеса, работающего при нормальных условиях эксплуатации
2	331–331	У края круга катания того же колеса
3	130–197	В зоне свариваемости металла того же образца
4	128–140	В зоне поверхности катания, имеющей наслоение металла
5	130–143	Твёрдости лепестков навара

Таблица 6

Значения показателей твёрдости (выполнено автором)

№ образца	Твёрдость образцов НВ, кгс/мм²	Место измерения твёрдости
1	345–375	В зоне осевой линии круга катания колеса, работающего при нормальных условиях эксплуатации
2	341–370	У края круга катания того же колеса
3	355–370	В зоне поверхности катания

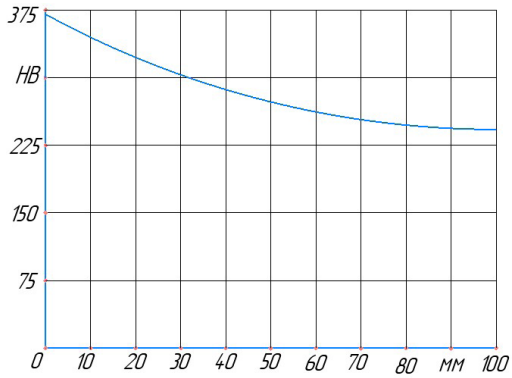


Рис. 5. Кривая зависимости твёрдости по глубине металла после поверхностного упрочнения в зоне сечения а (выполнено автором).

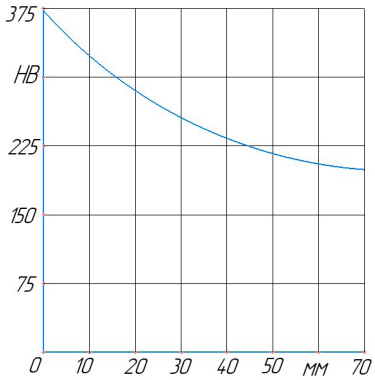


Рис. 7. Кривая зависимости твёрдости по глубине металла после поверхностного упрочнения в зоне сечения в (выполнено автором).

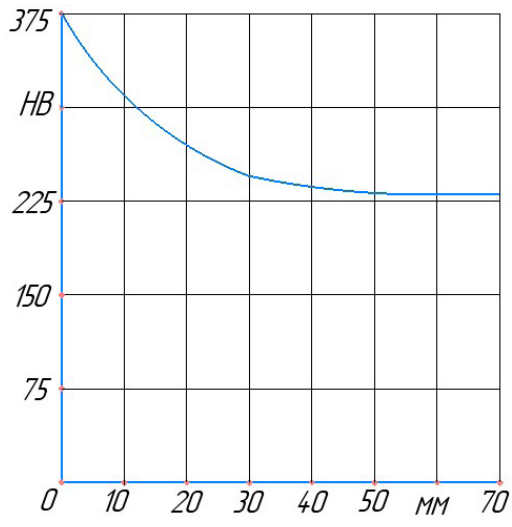


Рис. 6. Кривая зависимости твёрдости по глубине металла после поверхностного упрочнения в зоне сечения б (выполнено автором).

В результате замера твёрдости на различных участках дефектного колеса были получены данные значения (табл. 5)[3, 4].

Рассмотрев основные дефекты колёсной пары, приходим к выводу, что поверхностное упрочнение методами PVD и CVD позволяет решить проблемы повышения живучести колеса путём повышения износостойкости [9–15]:

• карбид титана TiC повысит износостойкость металла и значительно снизит вероятность появление отколов;

[3] ГОСТ 10791-2004. Колёса цельнокатаные. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2004. – 24 с. [Электронный ресурс]: http://docs.cntd.ru/document/1200037 631. Доступ 12.01.2021.

[4] ГОСТ 9012-59. Металлы. Метод измерения твёрдости по Бринеллю. – М.: Стандартинформ, 2007. – 40 с. [Электронный ресурс]: http://docs.cntd.ru/document/gost-9012-59. Доступ 12.01.2021.

• нитрид титана TiN создаст защитный слой, повышающий механическую износостойчивость колеса и сопротивляющийся контактным напряжениям, что приведёт к уменьшению вероятности образования выщербин на поверхности колеса;

• оксид алюминия Al_2O_3 существенно повышает термоустойчивость металла, что позволит уменьшить вероятность образования наваров на поверхности катания в момент торможения подвижного состава;

• алюминий-титан-нитрид AlTiN создаст уникальную композитную структуру, повышающую твёрдость металла, термоустойчивость и сопротивление ударным нагрузкам, что позволит избежать излома обода колеса;

• алюминий-хром-нитрид AlCrN способствует повышению твёрдости, что приведёт к наиболее равномерному износу и уменьшению количества ползунов в процессе эксплуатации колёсной пары.

Значения твёрдости в различных частях колеса после применения упрочняющих технологий приведены в табл. 6.

Кривые зависимости твёрдости по глубине металла после поверхностного упрочнения в зонах сечения представлены на рис. 5–7.

ВЫВОДЫ

Таким образом, используемые методы PVD и CVD поверхностно-упрочняющих технологий позволяют предупредить или устранить большинство известных дефектов цельнокатаного колеса, упрочнить поверхность катания и обод колеса, тем самым повысив живучесть колеса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев С. Н., Грибков А. А., Алёшин С. В. Технологии нанообработки. – Старый Оскол: ТНТ, 2008. – 242 с. [Электронный ресурс]: http://msi.ulstu.ru/files/%D0%93%D1%80%D0%B8% D0%B3%D0%BE%D1%80%D1%8C%D0%B5%D0%B2%20%D0%A1.%D0%9D.% 20%D0%A2%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D0%B8%20%D0%BD%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%BA%D0%B8.pdf. Доступ 12.01.2021.

2. Жабрев В. А., Марголин В. И., Павельев В. С. Введение в нанотехнологию (Общие сведения, понятия и определения). – Самара: СГАУ, 2007. – 172 с. [Электронный ресурс]: http://repo.ssau.ru/bitstream/Uchebnye-posobiya/Vvedenie-v-nanotehnologiu-obshie-svedeniya-ponyatiya-i-opredeleniya-Elektronnyi-resurs-ucheb-posobie-54393/1/%d0%96%d0%b0%d0%b1%d1%80%d0%b5%d0%b5%d0%b2%20%d0%92.%d0%90.%20%d0%92%d0%b2%d0%b5%d0%b4%d0%b5%d0%bd%d0%b8%d0%b5%20%d0%b2%20%d0%bd%d0%b0%d0%bd%d0%be%d1%82%d0%b5%d1%85%d0%bd%d0%be%d0%bb%d0%be%d0%b3%d0%b8%d1%8e.pdf. Доступ 12.01.2021.

3. Кирчанов В. С. Наноматериалы и нанотехнологии. – Пермь: Изд-во Пермского национального исследовательского политех. ун-та, 2016. – 193 с. [Электронный ресурс]: https://pstu.ru/files/2/file/kafedra/fpmm/of/Nanomateriali_i_nanotehnologii_bak.pdf. Доступ 12.01.2021.

4. Tsikunov, A. E. Study of defects in the rims of railway wheels. Minsk, Flame, 1966, 48 p.

5. Asplund, M., Palo, M., Famurewa, S. [*et al*]. A study of railway wheel profil parameters used as indicators of an increased risk of wheel defects, Proc. Inst. Mech. Eng., Part F: J. Rail Rapid Transit, 2016, Vol. 230 (2), pp. 323–334.

6. Алехин В. П. Физика прочности и пластичности поверхностных слоёв материалов. – М.: Наука, 1983. – 280 с.

7. Алехин В. П. Физические закономерности микропластической деформации поверхностных слоёв материалов и получения нанокристаллического состояния / Машиностроительные технологии 04: Сб. пленарных докладов IV международного конгресса (Варна, Болгария, сентябрь 2004 г.). С. 12–19.

8. Губкин С.И. Пластическая деформация металлов. – М.: Металлургиздат, 1960. – 265 с.

9. Нагорнов Ю. С. 101 вопрос о нанотехнологиях. – Тольятти: ТГУ, 2012. – 110 с. [Электронный ресурс]: http://window.edu.ru/resource/126/80126/files/nagornov_nano_101.pdf. Доступ 12.01.2021.

10. Новиков Л. С., Воронина Е. Н. Перспективы применения наноматериалов в космической технике. – М.: Университетская книга, 2008. – 188 с. [Электронный ресурс]: http://eb.arsu.kz:81/pdf/foreign/%D0%9D%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2_%D0%92%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%BD%D0%B0_perspektivy_primeneniya_nanomateria.pdf. Доступ 12.01.2021.

11. Кирчанов В. С. Физические основы нанотехнологий фотоники и оптоинформатики. – Пермь: Изд-во Пермского национального исследовательского политех. ун-та, 2020. – 268 с. [Электронный ресурс]: https://pstu.ru/files/2/file/kafedra/fpmm/of/Fizicheskie_osnovi_nanotehnologiyi_fotoniki_i_optoinformatiki_mag.pdf. Доступ 12.01.2021.

12. Алехин В. П., Алехин О. В. Нанотехнология поверхностной упрочняющей и финишной обработки деталей из конструкционных и инструментальных сталей // Машиностроение и инженерное образование. – 2007. – № 4. – С. 2–13. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12051704. Доступ 12.01.2021.

13. Liu, Sen Hui; Li, Cheng-Xin; Li, Lu; Huang, Jia-Hua; Xu, Pan; Hu, Ying-Zhen; Yang, Guan-Jun; Li, Chang-Jiu. Development of long laminar plasma jet on thermal spraying process: microstructures of zirconia coatings. Surface and Coatings Technology, 2018, Vol. 337, pp. 241–249. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2018.01.003.

14. Xiang, Yong; Yu, Deping; Liu, Fangyuan; Lv, Cheng; Yao, Jin. Determining the heat flux distribution of laminar plasma jet impinging upon a flat surface: an indirect method using surface transformation hardening. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2018, Vol. 118, pp. 879–889. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.11.050.

15. Алехин В. П., Алехин О. В. Физические закономерности микропластической деформации поверхностных слоёв материалов // Деформация и разрушение материалов. – 2005. – № 9. – С. 24–31. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12000469. Доступ 12.01.2021.

DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-1-48-59

Increasing Service Life of a Railway Wheel with Surface Hardening Technology



Bunkova, Tamara G., *Omsk State Transport University, Omsk, Russia*.*

Tamara G. BUNKOVA

ABSTRACT

The article presents surface hardening technology as applied to solid-rolled wheels of rolling stock. The obtained results of the theoretical study on the process of strengthening the metal of the wheel will make it possible to develop scientifically grounded technological and technical solutions to prevent formation and development of defects on the rolling surface, as well as to eliminate them during maintenance.

The objective of this work is to identify the optimal method for surface hardening of a railway wheel with defects.

At present, the issue of extending service life of elements and critical parts of rolling stock is becoming increasingly acute. Due to the limited economic feasibility and limited availability of existing production technologies, it becomes necessary to create a new material modified with nanoclusters and hardened with surfactants.

Nanoclusters have high plasticity and hardness values. To determine the hardness value of nanomaterials, the Vickers hardness test method is used, in which hardness is determined by the size of the area of the indentation after removing the load from the pyramid shaped diamond.

Superplasticity is observed in nanostructures. For nickel and nickel-aluminium alloy $NiAl_3$, low-temperature superplasticity is observed in the temperature range 450–470°C, which is three times lower than their melting point [1].

Keywords: railway, railway wheel, defects, chemical analysis, mechanical properties, surface hardening, service life, nanoengineering.

---

*Information about the author:
Bunkova, Tamara G. – Senior Lecturer at the Department of Wagons and Wagon Facilities, Engineer at the Department of Transport Mechanical Engineering Technology and Rolling Stock Repairs of Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russia, ✉ bunkovatg@mail.ru.

Article received 18.01.2021, accepted 26.02.2021.

For the original Russian text of the article please see p. 48.

BACKGROUND

The use of powder materials is among main ways to obtain functional materials in nanoengineering. Methods for obtaining modified layers of metal on the surface of materials are widely known in various fields of mechanical engineering. Most of these methods are considered as nanotechnology methods that allow creation of nanostructured layers on the surface of a material, parts, and their assemblies. Also, this method involves creation of modified nanocomposite materials in the form of nano- and micro-products.

Surface hardening methods:

• Technologies based on physical processes.

• Technologies based on chemical processes.

The most common surface hardening technologies are:

• PVD technology.

• CVD technology.

MATERIALS AND METHODS

PVD (Physical Vapour Deposition) technology is a method for producing metal-based hard coatings by means of physical vapour deposition [2].

PVD technology is based on the technological process of physical phenomena, as a result of which the material passes from a solid state to a liquid phase following evaporation under the influence of thermal energy or of sputtering due to the kinetic energy of collision of material particles. Then, the beam of the obtained gas phase is transported by means of an electromagnetic field to the surface to be hardened, that is heated to no more than 500°C. The ionised material then collides and evenly condenses on the surface that therefore hardens.

The main types of PVD coatings and their properties:

• Titanium nitride TiN is a universal coating for low-carbon steels, increases the service life of a part or assembly, acting as a mechanical, thermal, and chemical protection between friction surfaces.

• Titanium carbonitride TiCN increases productivity of parts and assemblies, provides, as compared with titanium nitride, higher mechanical properties of the processed surface.

• Aluminium-titanium-nitride AlTiN is a coating with a unique nanocomposite structure that increases hardness, heat resistance and resistance to shock loads. Excellent test results unambiguously indicate an increase in the life of a part or assembly.

• Aluminium-chromium-nitride AlCrN has a unique nanocrystalline lattice, that significantly increases hardness and heat resistance. It is best used where uniform wear and tear resistance is required due to its high temperature resistance and high performance in severe operating conditions.

Advantages of PVD coatings:

• Application of a material with higher melting point at a relatively low temperature, a more gentle mode of action on the metal of the part being hardened.

• Small layer thickness with equal performance characteristics.

Disadvantages:

• The physical deposition process is carried out in a vacuum and is incomparably more expensive, because involves the use of expensive equipment that requires highly qualified personnel [3].

The essence of CVD coating method is to create a thin TiC film on the surface of the spart being hardened, which allows increasing hardness and speed of its treatment without changing the internal structure of the alloy. This idea has received further development though the use of titanium nitride and aluminium oxide.

The method is based on the process, following which in the chamber, in which the temperature is maintained up to 1200°C, the coating material is supplied in a vapour aggregate state and, under the action of high temperatures, interacts with the surface to be hardened.

Basic properties of CVD coatings:

• Titanium carbide TiC increases wear resistance, prevents spalling.

• Titanium nitride prevents formation of burrs and adhesion to the processed surface, improving quality of the technological process.

• Aluminium oxide Al_2O_3 significantly increases resistance to high temperatures, prevents critical heating, being a good thermal insulator.

Advantages:

• Relative simplicity and low cost of the process.

Table 1

Mechanical properties of the wheel rim steel (compiled by the author)

Wheel steel grade	Ultimate resistance, N/mm² (kgf/mm²)	Relative elongation, %	Relative contraction, %	Hardness, HB
		No less		
1	882–1078 (90–110)	12	21	248
2	911–1107 (93–113)	8	14	255

Table 2

The chemical composition of the steel of the defective wheel (spalling) (compiled by the author)

C	Mn	Si	P	S
0,52	0,85	0,25	0,035	0,04

Table 3

Chemical content of the metal in the weld-on deposit area (compiled by the author)

C	Mn	Si	Cr	P	S
0,53	0,85	0,23	0,06	0,035	0,04

Table 4

Mechanical properties of a defective rim (compiled by the author)

Wheel steel grade	Ultimate resistance, kg/mm²	Fluidity limit, kg/mm²	Relative elongation, %	Relative contraction, %	Impact viscosity, kgm/cm²
1	105,0	93,0	10,0	18,2	1,75
2	110,6	95,0	11,6	19,0	1,5



Pic. 1. The main areas of distribution of hardness over the section and on the rolling surface of the rim (compiled by the author).

• Creation of coatings of a predetermined thickness.

• The ability to create complex, multi-layer coatings with unique properties and various number of combinations of these layers.

Disadvantages:

• Strong heating of the treated surface during the coating process to obtain adhesion, under the influence of strong heating the strength of the base material decreases.

• The chemicals used in the part coating process and by-products are toxic, flammable and corrosive.

• High material costs.

To assess feasibility of the technology under consideration, it is necessary to clearly understand which exact objectives we are pursuing while using the concepts of performance and service life.

First, the objective is to neutralise *defects*, namely:

• Spalling in the wheel rim area.

• Chipping on the rolling surface.

• Weld-on deposits on the rolling surface.

• Slid flats.

• Fracture of the wheel rim.

Therewith, the mechanical properties of the steel of the rim of the railway wheel after the operations of hardening treatment must correspond to the standard values (Table 1) [4–8].

The reason for spalling in the wheel rim area is mainly separation of the metal from the rim of the underlying layers, which indicates the presence of shear stresses that exceed the ultimate strength of the metal.

The conducted chemical analysis of the defective wheel (Table 2) shows that the composition met the requirements for the wheel

Table 5

Wheel hardness control (compiled by the author)

No. of the sample	Sample hardness HB, kgf/mm²	Area of hardness testing
1	331–375	In the area of the centre line of the wheel's rolling circle, while the wheel is operating under normal operating conditions
2	331–331	At the edge of the rolling circle of the same wheel
3	130–197	In the weldability area of the metal of the same sample
4	128–140	In the area of the rolling surface with metal layering
5	130–143	In the area of the hardness of the weld-on deposit petals

steel in accordance with GOST [Russian State standard] 10791-2011[1].

Chipping on the rolling surface appears due to flaking or chipping of the metal, occurred due to high contact stresses between the rail and the rolling surface.

Weld-on deposit on the rolling surface appears following a mechanical or large thermal effect on the rolling surface during braking of rolling stock.

The conducted chemical analysis of the enveloped metal petals shows a reduced content of carbon and manganese in comparison with the initial content of these elements in the wheel steel. It can be assumed that with high heating of the metal during braking, these elements burn out. Chemical analysis data are given in Table 3.

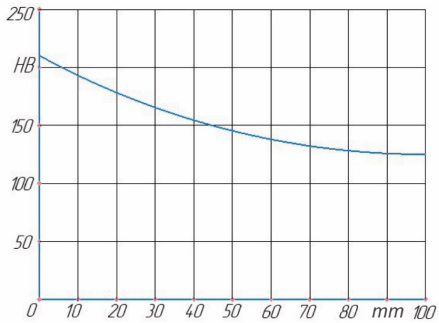
Slid flats appear due to jamming (skidding) of the wheelset on the rolling surface, the mechanical reason for skidding is destructive friction.

Fracture of the wheel rim can occur due to a manufacturing defect, or due to gradual fatigue destruction of the wheel metal, the mechanical properties of the rim material are presented in Table 4.

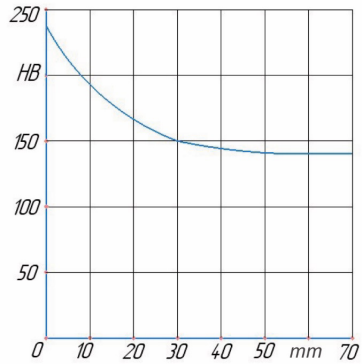
The *objective* of this work is to establish the optimal method for surface hardening of the surface of a railway wheel with defects.

RESULTS

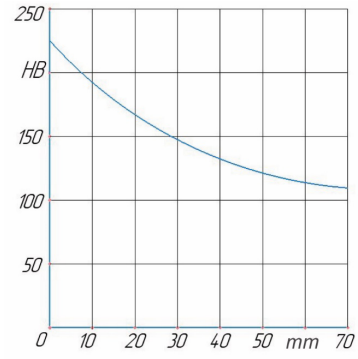
Measurements of hardness of the wheel material along the section areas *a, b, c* (Pic. 1)[2] have been made. As a result, the curves of the dependence of hardness on the depth of the metal have been obtained in the section areas



Pic. 2. The curve of dependence of hardness on the depth of the metal in the section area a (compiled by the author).



Pic. 3. The curve of dependence of hardness on the depth of the metal in the section area b (compiled by the author).



Pic. 4. The curve of dependence of hardness on the depth of the metal in the section area c (compiled by the author).

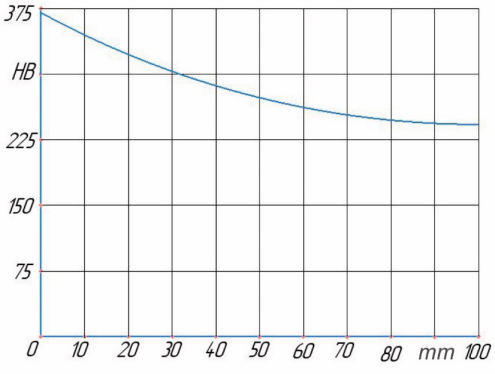
[1] GOST [Interstate Standard] 10791-2004. Wheels are solid-rolled. Specifications. Moscow, Standards Publishing House, 2004, 24 p. [Electronic resource]: https://docs.cntd.ru/document/1200037631. Last accessed 12.01.2021.

[2] GOST [Interstate Standard] 9012-59. Metals. Brinell hardness measurement method. Moscow, Standards Publishing House, 2007, 40 p. [Electronic resource]: http://docs.cntd.ru/document/gost-9012-59. Last accessed 12.01.2021.

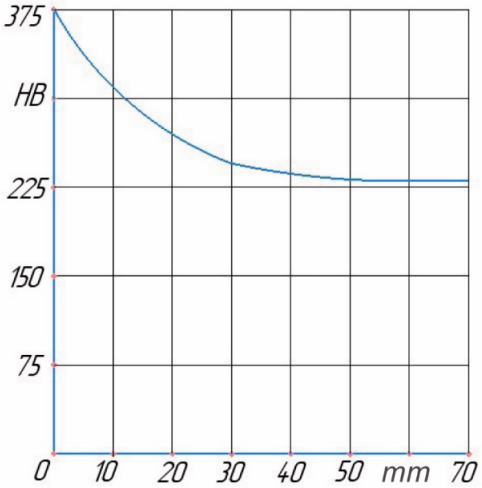
Table 6

The values of hardness indicators (compiled by the author)

No. of the sample	Hardness of samples HB, kgf/mm^2	Area of hardness testing
1	345–375	In the area of the centre line of the rolling circle of the wheel operating under normal operating conditions
2	341–370	At the edge of the rolling circle of the same wheel
3	355–370	In the rolling area



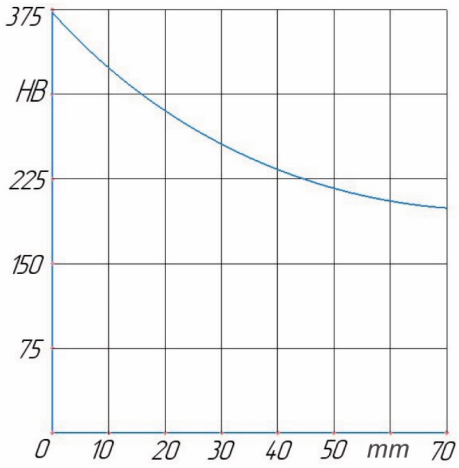
Pic. 5. The curve of dependence of hardness on the depth of the metal after surface hardening in the section area a (compiled by the author).



Pic. 6. The curve of dependence of hardness on the depth of the metal after surface hardening in the section area b (compiled by the author).

before and after surface hardening (Pics. 2–4). Based on the curves the expediency of using surface hardening processing methods is obvious.

The increase in brittleness during operation is explained by the presence of numerous non-metallic inclusions that reduce density of the metal of the surface layers during prolonged braking.



Pic. 7. The curve of dependence of hardness on the depth of the metal after surface hardening in the section area c (compiled by the author).

Measurements of hardness in different parts of defective wheels have resulted in the values shown in Table 5[3, 4].

Having considered the main defects of the wheel set, we might draw a conclusion that surface hardening by PVD and CVD methods allows solving the problems of increasing survivability of the wheel by increasing wear resistance [9–15]:

• Titanium carbide TiC will increase wear resistance of the metal, and significantly reduce probability of spalling.

• Titanium nitride TiN will create a protective layer that increases the mechanical wear resistance of the wheel and resists contact stresses, which will reduce probability of chipping on the wheel surface.

• Aluminium oxide Al_2O_3 significantly increases the thermal stability of the metal,

[3] GOST 10791-2004. Wheels are solid-rolled. Specifications. Moscow, Standards Publishing House, 2004, 24 p. [Electronic resource]: https://docs.cntd.ru/document/1200037631. Last accessed 12.01.2021.

[4] GOST 9012-59. Metals. Brinell hardness measurement method. Moscow, Standards Publishing House, 2007, 40 p. [Electronic resource]: http://docs.cntd.ru/document/gost-9012-59. Last accessed 12.01.2021.

reducing the likelihood of weld build-up on the rolling surface when the rolling stock is braking.

• Aluminium-titanium-nitride AlTiN will create a unique composite structure that increases hardness of the metal, heat resistance and resistance to shock loads, which will avoid the wheel rim fracture.

• Aluminium-chromium-nitride AlCrN contributes to an increase in hardness, which will lead to the most uniform wear and to a decrease in the number of sliders during operation of the wheel set.

The hardness values in different parts of the wheel after application of hardening technology are given in Table 6.

The curves of the dependence of hardness on the depth of the metal after surface hardening in the section areas are shown in Pics. 5–7.

CONCLUSIONS

Thus, the applied methods of PVD and CVD surface hardening technologies allow preventing or eliminating most of the known defects of a solid-rolled wheel, hardening the rolling surface and the wheel rim, thereby increasing service life of the wheel.

REFERENCES

1. Grigoriev, S. N., Gribkov, A. A., Alyoshin, S. V. Technologies of nanoprocessing [*Tekhnologii nanoobrabotki*]. Stary Oskol, TNT publ., 2008, 242 p. [Electronic resource]: http://msi.ulstu.ru/files/%D0%93%D1%80%D0%B8%D0%B3%D0%BE%D1%80%D1%8C%D0%B5%D0%B2%20%D0%A1.%D0%9D.%20%D0%A2%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D0%B8%20%D0%BD%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%BA%D0%B8.pdf. Last accessed 12.01.2021.

2. Zhabrev, V. A., Margolin, V. I., Pavelyev, V. S. Introduction to nanotechnology (General information, concepts, and definitions) [*Vvedenie v nanotekhnologiyu (Obshchie svedeniya, ponyatiya i opredeleniya)*]. Samara, SSAU publ., 2007, 172 p. [Electronic resource]: http://repo.ssau.ru/bitstream/Uchebnye-posobiya/Vvedenie-v-nanotehnologiu-obshie-svedeniya-ponyatiya-i-opredeleniya-Elektronnyi-resurs-ucheb-posobie-54393/1/%d0%96%d0%b0%d0%b1%d1%80%d0%b5%d0%b5%d0%b2%20%d0%92.%d0%90.%20%d0%92%d0%b2%d0%b5%d0%b4%d0%b5%d0%bd%d0%b8%d0%b5%20%d0%b2%20%d0%bd%d0%b0%d0%bd%d0%be%d1%82%d0%b5%d1%85%d0%bd%d0%be%d0%bb%d0%be%d0%b3%d0%b8%d1%8e.pdf. Last accessed 12.01.2021.

3. Kirchanov, V. S. Nanomaterials and nanotechnologies [*Nanomaterialy i nanotekhnologii*]. Perm, Publishing house of Perm National Research Polytechnic University, 2016, 193 p. [Electronic resource]: https://pstu.ru/files/2/file/kafedra/fpmm/of/Nanomateriali_i_nanotehnologii_bak.pdf. Last accessed 12.01.2021.

4. Tsikunov, A. E. Study of defects in the rims of railway wheels. Minsk, Flame, 1966, 48 p.

5. Asplund, M., Palo, M., Famurewa, S. [*et al*]. A study of railway wheel profil parameters used as indicators of an increased risk of wheel defects. *Proc. Inst. Mech. Eng., Part F: J. Rail Rapid Transit*, 2016, Vol. 230 (2), pp. 323–334.

6. Alekhin, V. P. Physics of strength and plasticity of surface layers of materials [*Fizika prochnosti i plastichnosti poverkhnostnykh sloev materialov*]. Moscow, Nauka publ., 1983, 280 p.

7. Alekhin, V. P. Physical laws of microplastic deformation of surface layers of materials and obtaining nanocrystalline state [*Fizicheskie zakonomernosti mikroplasticheskoi deformatsii poverkhnostnykh sloev materialov i polucheniya nanokristalicheskogo sostoyaniya*]. Mechanical engineering technologies 04: Proceedings of plenary reports of 4th International Congress (Varna, Bulgaria, September 2004), pp. 12–19.

8. Gubkin, S. I. Plastic deformation of metals [*Plasticheskaya deformatsiya metallov*]. Moscow, Metallurgizdat publ., 1960, 265 p.

9. Nagornov, Yu. S. 101 question of nanotechnology [*101 vopros nanotekhnologii*]. Togliatti, TSU publ., 2012, 110 p. [Electronic resource]: http://window.edu.ru/resource/126/80126/files/nagornov_nano_101.pdf. Last accessed 12.01.2021.

10. Novikov, L. S., Voronina, E. N. Prospects for the use of nanomaterials in space technology [*Perspektivy primeneniya nanomaterialov v kosmicheskoi tekhnike*]. Moscow, Universitetskaya kniga publ., 2008, 188 p. [Electronic resource]: http://eb.arsu.kz:81/pdf/foreign/%D0%9D%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2_%D0%92%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%BD%D0%B0_perspektivy_primeneniya_nanomateria.pdf. Last accessed 12.01.2021.

11. Kirchanov, V. S. Physical foundations of nanotechnology photonics and optoinformatics [*Fizicheskie osnovy nanotekhnologii fotoniki i optoinformatiki*]. Perm, Publishing house of Perm National Research Polytechnic University, 2020, 268 p. [Electronic resource]: https://pstu.ru/files/2/file/kafedra/fpmm/of/Fizicheskie_osnovi_nanotehnologiyi_fotoniki_i_optoinformatiki_mag.pdf. Last accessed 12.01.2021.

12. Alekhin, V. P., Alekhin, O. V. Nanotechnology of surface hardening and finishing of parts made of structural and tool steel [*Nanotekhnologiya poverkhnostnoi uprochnyayushchei i finishnoi obrabotki detalei iz konstruktsionnykh i instrumentalnykh stalei*]. *Mashinostroenie i inzhenernoe obrazovanie*, 2007, Iss. 4, pp. 2–13. [Electronic resource]: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12051704. Last accessed 12.01.2021.

13. Liu, Sen Hui; Li, Cheng-Xin; Li, Lu; Huang, Jia-Hua; Xu, Pan; Hu, Ying-Zhen; Yang, Guan-Jun; Li, Chang-Jiu. Development of long laminar plasma jet on thermal spraying process: microstructures of zirconia coatings. *Surface and Coatings Technology*, 2018, Vol. 337, pp. 241–249. 2018. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2018.01.003.

14. Xiang, Yong; Yu, Deping; Liu, Fangyuan; Lv, Cheng; Yao, Jin. Determining the heat flux distribution of laminar plasma jet impinging upon a flat surface: an indirect method using surface transformation hardening. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2018, Vol. 118, pp. 879–889. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.11.050.

15. Alekhin, V. P., Alekhin, O. V. Physical laws of microplastic deformation of surface layers of materials [*Fizicheskie zakonomernosti mikroplasticheskoi deformatsii poverkhnostnykh sloev materialov*]. *Deformatsiya i razrushenie materialov*, 2005, Iss. 9, pp. 24–31. [Electronic resource]: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12000469. Last accessed 12.01.2021.

УДК 656.212.5
DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-1-60-73

Концепция цифровой платформы на сортировочных станциях







Александр ШАБЕЛЬНИКОВ **Иван ОЛЬГЕЙЗЕР** **Андрей СУХАНОВ**

Шабельников Александр Николаевич *– Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону, Россия.*
Ольгейзер Иван Александрович *– АО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте», Ростов-на-Дону, Россия.*
Суханов Андрей Валерьевич *– АО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте», Ростов-на-Дону, Россия*.*

Реализация концепции «Индустрия 4.0» рассмотрена в контексте автоматизации железнодорожного транспорта. Проанализированы предпосылки для создания универсальной цифровой платформы, объединяющей системы автоматизации на сортировочной станции.

На примере ОАО «РЖД» описаны основные цели концепции «Цифровая станция», направленные на слияние данных от низовой автоматики. Представлен функционал системы контроля и подготовки информации о перемещениях вагонов и локомотивов на станции в реальном времени (СКПИ ПВЛ РВ), реализующей поставленные цели путём обобщения исходной информации от всех действующих на станции систем автоматизации и централизации, проверки её на непротиворечивость, устранения избыточности информации и формирование в реальном времени текущей поездной и вагонной модели сортировочной станции на основе данных «от колеса».

Описан существующий функционал СКПИ ПВЛ РВ, реализованный на реальном объекте внедрения, и представлены преимущества данной системы для сети грузовых перевозок на железнодорожном транспорте. Целью работы является представление отдельных ранее не опубликованных технических решений реализации указанного функционала. Методы работы основаны на слиянии разнородных данных, получаемых от напольных устройств, специализированных видеокамер, а также моделей позиционирования вагонов реального времени.

Показано, что внедрение новых технических решений в СКПИ ПВЛ РВ позволит на порядок повысить качество планирования выполнения технологического процесса сортировки железнодорожных вагонов и прогноза необходимости обслуживания инфраструктуры. Представлены алгоритмы глубокого обучения, обеспечивающие функционирование разрабатываемых решений в реальном времени с высокой точностью. Описаны дальнейшие шаги по реализации цифровой платформы в виде цифрового двойника сортировочной станции, что создаст предпосылку для разработки интеллектуального автомата управления сортировочной станцией и планируемые пути реализации.

Ключевые слова: железная дорога, сортировочная станция, интеллектуальные технологии, цифровизация, модели реального времени, системы автоматизации, цифровая станция.

---

*Информация об авторах:
Шабельников Александр Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры информатики Ростовского государственного университета путей сообщения (РГУПС), Ростов-на-Дону, Россия, inf-rgups@yandex.ru.
Ольгейзер Иван Александрович – кандидат технических наук, начальник отделения инновационных и интеллектуальных технологий цифровой станции Ростовского филиала АО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (РостФ НИИАС), Ростов-на-Дону, Россия, olgeyzer@rfniias.ru.
Суханов Андрей Валерьевич – кандидат технических наук, заместитель начальника отделения инновационных и интеллектуальных технологий цифровой станции Ростовского филиала АО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (РостФ НИИАС), Ростов-на-Дону, Россия, ✉ a.suhanov@rfniias.ru.

Статья поступила в редакцию 21.05.2020, принята к публикации 18.12.2020.

For the English text of the article please see p. 67.

ВВЕДЕНИЕ

Использование современных технологий в рамках концепции Индустрии 4.0 в части цифровизации и интеллектуализации [1] железнодорожной инфраструктуры в целом и сортировочных станций как самых сложных компонентов системы обслуживания грузопотоков, в частности, должно привести к резкому повышению производительности труда, сокращению эксплуатационных расходов, переходу на малолюдные технологии работы с одновременным повышением безопасности прохождения технологических процессов [2].

В настоящий момент на важнейших узловых станциях сети дорог ОАО «РЖД» согласно утверждённой «Актуализированной схеме размещения и программы развития сортировочных станций, с учётом развития вспомогательных к ним (технических, предузловых) станций» и её подпрограмме «Цифровой сортировочный комплекс» ведётся проектирование и внедрение цифровых модулей, к которым относятся:

- интегрированный пост автоматизированного приёма и диагностики подвижного состава на сортировочных станциях (ППСС) [3];
- комплексная система автоматизированного управления сортировочным процессом (КСАУ СП) [4];
- маневровая автоматическая локомотивная сигнализация МАЛС [5];
- интерактивный пульт КСАУ СП [6];
- автоматизация маневровых передвижений по горке;
- автоматизированное заграждение/закрепление в парках станции;
- расширенный обмен информацией с автоматизированной системой управления станции (АСУ СТ);
- система контроля и подготовки информации о перемещениях вагонов и локомотивов на станции в реальном времени (СКПИ ПВЛ РВ) [7].

Существенным недостатком существующих информационных систем на сортировочных станциях, вносящим значительные искажения в формируемые показатели и ограничивающим эффективность автоматизированного планирования работы, является ручной ввод информации о технологических операциях на сортировочной станции.

На сортировочных станциях внедрены различные устройства и системы автоматизации и централизации контроля и управления (САИ ПС, подсистемы горочного комплекса КСАУ СП, МАЛС, АСКОПВ, ряд систем контроля и диагностики – АДК СЦБ, АПК ДК и др.). При этом ни одна из указанных систем не способна обеспечить формирование полноценной адекватной вагонной и поездной модели станции в реальном времени. Это связано с тем, что информация в каждой из перечисленных систем не является полной и самодостаточной. Так, например, САИ ПС не обеспечивает контроль вагонов, не оборудованных идентификационными датчиками, и обеспечивает контроль только на входе и выходе станции; система МАЛС способна контролировать только маневровые локомотивы, оснащённые соответствующей бортовой аппаратурой; горочный комплекс контролирует только зону горки и сортировочного парка и т.п.

Целью подпрограммы «Цифровой сортировочный комплекс» является создание цифровой платформы, на базе которой обеспечивается слияние данных, получаемых от устройств низовой автоматики, а именно:

- обобщение исходной информации от всех действующих на станции систем автоматизации и централизации;
- проверка получаемой информации на непротиворечивость;
- устранение избыточности информации;
- формирование в реальном времени текущей поездной и вагонной модели сортировочной станции на основе данных «от колеса».

Целью настоящей работы является описание части разработки в рамках подпрограммы «Цифровой сортировочный комплекс», а именно представление ранее не опубликованных технических решений, направленных на повышение достоверности модели расположения подвижных единиц.

Методами настоящей работы являются методы слияния разнородных данных, получаемых от напольных устройств,

специализированных видеокамер, а также моделей позиционирования вагонов реального времени.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Основные задачи разрабатываемой цифровой платформы

Цифровая станция должна обеспечить комплексную автоматизацию управления и контроля технологических процессов, состояния станционной инфраструктуры в реальном времени на основе интеграции систем низовой автоматики и исключения ручного ввода информации. Цифровая станция за счёт ведения динамической цифровой модели станции позволит строить график исполненной работы (ГИР) станции только по фактическим данным.

Исходя из этого, цифровая станция должна строиться на следующих принципах [8]:

• покрытие станционных парков устройствами контроля, обеспечивающими возможность ведения достоверной цифровой модели станции;

• непрерывный мониторинг состояния всех устройств, механизмов, подвижных единиц посредством Интернета вещей, создания алгоритмов предсказательной диагностики по прогнозируемому технико-технологическому обслуживанию объектов инфраструктуры, добавления в сеть системы персонала станции;

• непрерывное ведение цифровой модели станции на нескольких уровнях: график исполненной и планируемой работы, фактическое состояние напольных устройств, расположение подвижного состава, расположение локомотивов, расположение персонала.

Реализация вышеуказанных принципов в той или иной степени самостоятельно либо в увязке с другими модулями цифрового сортировочного комплекса, а также с информационными системами верхнего уровня (АСУ станции) осуществляется системой контроля и подготовки информации о перемещениях вагонов и локомотивов на станции в реальном времени (СКПИ ПВЛ РВ). СКПИ ПВЛ РВ разработана специалистами АО «НИИАС» на основе многолетнего опыта автоматизации сортировочных процессов на решающих станциях сети дорог ОАО «РЖД».

Разработка СКПИ ПВЛ РВ направлена на:

• построение единой системы фиксации событий на сортировочной станции в режиме реального времени, не зависящей от конкретного типа систем низовой автоматики и напольного оборудования;

• обеспечение АСУ станции достоверной информацией о фактических передвижениях подвижного состава, времени начала и окончания технологических операций на станции по реальным данным.

С этими целями в системе уже реализованы:

• сбор информации от систем низовой автоматики и АСУ станции;

• отслеживание и фиксация передвижения подвижного состава на станции;

• передача в АСУ СТ информации об изменении накопления в парках сортировочной станции;

• передача в АСУ СТ информации о начале и завершении технологических операций в парках станции;

• отображение текущей дислокации подвижного состава на экранах АРМ (в том числе удалённых) и на табло коллективного пользования оперативно-диспетчерского персонала станции;

• протоколирование зафиксированных передвижений подвижного состава по станции;

• протоколирование сообщений при обмене с другими АСУ;

• диагностирование постовых и напольных устройств СЦБ сортировочной станции.

Фактически, в настоящее время СКПИ ПВЛ РВ является не только самостоятельной системой сбора и обработки информации от устройств низовой автоматики, но и агрегатором информации от систем автоматизации и контроля отдельных зон станции (КСАУ СП, ППСС, системы контроля и управления заграждающими устройствами и т.д.).

С учётом большого количества уже существующих внедряемых систем автоматизации на станции и появляющихся новых технических средств, в рамках парадигмы Интернета вещей и других интеллектуаль-

ных технологий Индустрии 4.0 естественным образом появляется необходимость развития СКПИ ПВЛ РВ до общей цифровой станционной платформы взаимодействия всех систем, устройств, подвижных единиц и персонала на станции в реальном времени посредством общей виртуальной «сети». К основным функциям такой цифровой платформы можно отнести:

• ведение единой модели реального времени состояния всех напольных устройств на станции;

• ведение единой модели реального времени расположения всех подвижных единиц станции (вагон, локомотив, маневровая группа, состав). Модель должна включать информацию о типе, габаритах, состоянии подвижного состава по данным, полученным от ППСС, либо от других пунктов фиксации перемещения подвижного состава по станции;

• ведение единой модели реального времени расположения всего персонала станции, находящегося в опасных зонах и имеющего электронные средства контроля местоположения;

• обеспечение информационного взаимодействия между смежными подсистемами по общему универсальному протоколу взаимодействия за счёт информации из модели реального времени;

• возможность добавления новых устройств, персонала и систем в общую «сеть»;

• передача данных о перемещениях перерабатываемого вагонопотока и маневровых локомотивов, а также о состоянии напольных устройств в систему верхнего уровня для формирования плана работ и графика исполненной работы по данным «от колеса»;

• сохранение всей поступающей информации в базу данных;

• работа с большими данными по накопленной статистике для анализа узких мест и возможных резервов в использовании оборудования;

• диагностика и выдача рекомендаций по необходимому техническому обслуживанию и очередности выполнения тех или иных технологических процессов.

Реализация вышеуказанных функций цифровой платформы на основе СКПИ ПВЛ РВ специалистами АО «НИИАС» планируется при внедрении системы на станции Челябинск-Главный в рамках выполнения инвестиционной программы «Цифровой сортировочный комплекс».

В рамках реализации функций цифровой платформы специалистами института разработаны и разрабатываются научная основа и ряд дополнительных технических решений.

Технические решения по совершенствованию СКПИ ПВЛ РВ для реализации функций цифровой платформы

Одним из технических решений, предназначенных для повышения достоверности модели расположения подвижных единиц на станции, является разработанная специалистами института универсальная счётная точка (СТУ). В состав универсальной счётной точки входят устройства фиксации осей подвижного состава (УФПО), прожекторы освещения для создания равномерного освещения зоны контроля и специализированные камеры для идентификации типа подвижного состава.

Универсальная счётная точка обеспечит не только идентификацию факта перемещения и фиксацию общего количества осей переставляемой группы подвижного состава, но и контроль инвентарного номера, количества подвижных единиц и количества осей в каждой подвижной единице.

Эпюра размещения СТУ в междупутье показана на рис. 1.

Выполнение СТУ своих функций реализовано за счёт слияния данных, полученных от напольных устройств (датчиков счёта осей, рельсовых цепей), от специализированных видеокамер и от модели реального времени расположения всех подвижных единиц на станции.

Данные, получаемые от специализированных камер, проходят предобработку на основе алгоритмов технического зрения (рис. 2).

Использование алгоритмов глубокого обучения (рис. 3, базовая архитектура искусственной нейронной сети взята из [9]) и механизмов параллельных вычислений [10] обеспечивает обработку данных и их передачу в центральный модуль управления в реальном времени. Отличительной особенностью используемого

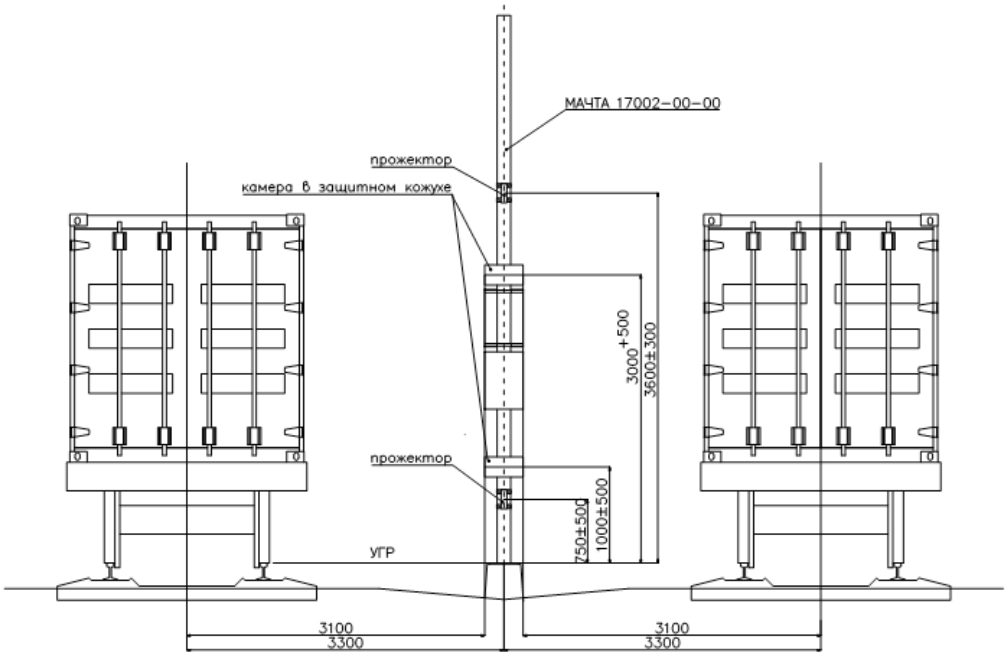


Рис. 1. Размещение универсальной счётной точки СТУ (АО «НИИАС»).



Рис. 2. Иллюстрация работы СТУ (фотография АО «НИИАС»).

инструментария является одновременное детектирование нескольких показателей – автосцепок, осей и номеров подвижного состава.

При этом за счёт взаимодействия каждой счётной точки с общей станционной моделью размещения подвижного состава достигается очень высокая точность идентификации при минимальном составе оборудования счётной точки.

Дальнейшие этапы развития проекта

Модель реального времени по размещению подвижных единиц на станции и по состоянию напольных устройств с достоверной информацией «от колеса» позволит на порядок повысить качество планирования выполнения технологического процесса в информационных системах верхнего уровня (АСУ СТ) с учётом реального состояния и прогноза необходимости обслуживания инфраструктуры.

Только в случае реализации основных функций цифровой платформы на станции, указанных выше, станет возможной реализация алгоритмов микропроцессорной централизации с возможностью автоматического исполнения программы маршрутных заданий любого размера.

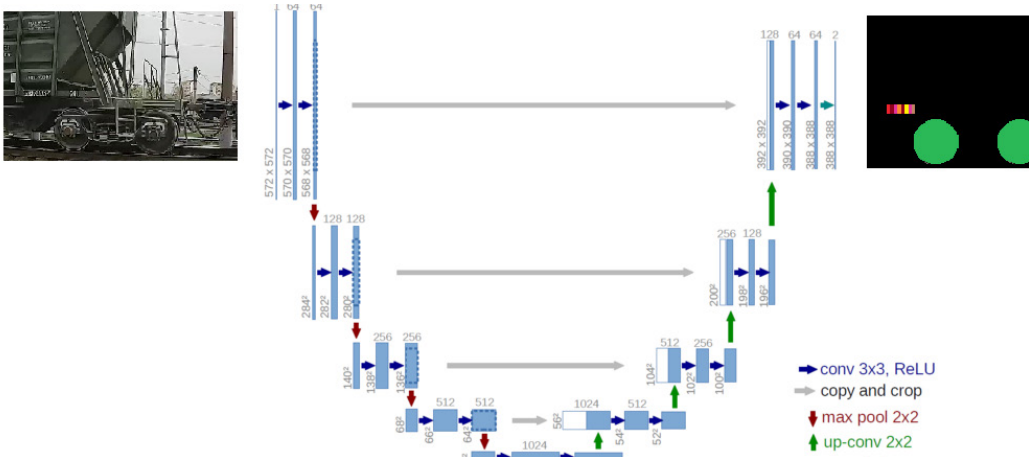


Рис. 3. Архитектура используемой искусственной нейронной сети для выделения контуров автосцепок, осей и номеров подвижного состава (с использованием [9]).

Это, в свою очередь, позволит решить задачу создания интеллектуального автомата, способного заменить человека при подготовке и проверке маршрутов приёма-отправления поездов.

В таком случае цифровая платформа для сторонних систем фактически превращается в цифровой двойник [11] станции. Это позволяет использовать технологии дополненной реальности: представлять прогнозируемые производственные результаты работы станции, то есть, предоставлять обслуживающему персоналу информацию о том, что будет на различных горизонтах планирования работ; отражать текущее и прогнозировать будущее состояние объектов инфраструктуры станции, например, остаточный ресурс работы компрессорной станции и время технического обслуживания.

В этом случае цифровой двойник, по мере накопления в своём составе элементов – цифровых копий устройств



Рис. 4. Структурная схема взаимодействия цифровой платформы и подсистем цифровой станции (составлена авторами).
На схеме: ИСУЖТ – интеллектуальная система управления железнодорожным транспортом, АСОУП – автоматизированная система оперативного управления перевозками, ГИД УРАЛ – автоматизированная система ведения и анализа графика исполненного движения, ЭЦ, ДЦ, МПЦ – системы централизации.

инфраструктуры, а также статистики их функционирования, за счёт множества зафиксированных вариантов их взаимодействия становится в сущности полноценным носителем искусственного интеллекта.

Предлагаемая структура взаимодействия подсистем цифровой станции и цифровой платформы будет выглядеть следующим образом (рис. 4).

Особенностью предлагаемой структуры является возможность добавления новых подсистем посредством подключения к цифровой платформе по единому протоколу информационного взаимодействия.

Кроме того, человек-оператор не сможет изменить физические параметры технологического процесса (изменение дислокации подвижного состава, контрольные сигналы начала/окончания технологических операций) при несоответствии предлагаемых изменений показаниям данным системы от технических устройств.

Внедрение указанных систем и модулей в различной конфигурации предполагается в ближайшие 3–5 лет на 27 решающих сортировочных станциях сети дорог ОАО «РЖД».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе описаны задачи, поставленные в ходе реализации подходов в рамках концепции Индустрии 4.0 при автоматизации железнодорожных сортировочных станций. Представлены основы концепции цифровой платформы, которая позволит осуществить комплексную автоматизацию управления и контроля технологических процессов в реальном времени на основе слияния данных, получаемых от различных станционных устройств, с исключением человеческого фактора.

Приведено новое техническое решение – универсальная счётная точка, позволяющая повысить достоверность модели реального времени станции в составе предлагаемой платформы, и описаны алгоритмы её работы. Кроме того, в работе описано текущее состояние разработки и внедрения предлагаемой цифровой платформы и дальнейшие планы реализации проекта.

Предложенный, в значительной мере универсальный, подход к формату новых решений при цифровизации работы сортировочных станций может быть использован на различных железных дорогах при условии его адаптации к наличию действующих автоматических систем управления и оборудованию станций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шабельников А. Н., Суханов А. В. Компоненты киберфизических систем в составе КСАУ СП // Автоматика, связь, информатика. – 2020. – № 1. – С. 12–14. DOI: 10.34649/AT.2020.1.1.002.

2. Розенберг И. Н., Шабельников А. Н. Цифровая сортировочная станция // Железнодорожный транспорт. – 2018. –№ 10. – С. 13–17.

3. Розенберг Е. Н., Батраев В. В. Разработка перспективных систем управления и обеспечения безопасности движения поездов // Бюллетень Объединённого учёного совета ОАО РЖД. – 2017. – № 4. – С. 43–51. [Электронный ресурс]: https://elibrary.ru/download/elibrary_30763584_22331826.pdf. Доступ 29.05.2020.

4. Шабельников А. Н., Соколов В. Н. КСАУ СП – новое направление автоматизации сортировочных горок // Автоматика, связь, информатика. – 2017. – № 8. – С. 2–4.

5. Замышляев А. М., Калинин А. В., Долганюк С. И. Система МАЛС: задачи и перспективы // Автоматика, связь, информатика. – 2016. – № 10. – С. 30–33.

6. Аношкин В. В., Шабельников А. Н., Шипулин Н. П. Интерактивный горочный пульт // Автоматика, связь и информатика. – 2020. – № 5. – С. 11–12.

7. Шабельников А. Н., Смородин А. Н. Комплексная автоматизация узловой сортировочной станции // Автоматика, связь и информатика. – 2018. – № 4. – С. 12–14.

8. Шабельников А. Н., Ольгейзер И. А., Рогов С. А. От механизации к цифровизации сортировочной станции // Автоматика, связь и информатика. – 2018. – № 1. – С. 21–23.

9. Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015. MICCAI 2015. Lecture Notes in Computer Science, Springer, Cham, 2015, Vol. 9351, pp. 234–241. [Электронный ресурс]: https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-319-24574-4_28.pdf. Доступ 29.05.2020.

10. Sergeev, A., Del Balso, M. Horovod: fast and easy distributed deep learning in TensorFlow // arXiv preprint arXiv:1802.05799, 2018. [Электронный ресурс]: https://arxiv.org/abs/1802.05799. Доступ 29.05.2020.

11. Ольгейзер И. А. Цифровой двойник сортировочной горки // Автоматика, связь и информатика. – 2020. – № 1. – С. 20–22.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (проект № 19-07-00263, 19-07-00195, 20-07-00100, 20-37-51002).

DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-1-60-73

Concept of Digital Platform at Marshalling Yards





Alexander N. SHABELNIKOV **Ivan A. OLGEIZER** **Andrey V. SUKHANOV**

Shabelnikov, Alexander N., *Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia.*
Olgeizer, Ivan A., *Research and Design Institute for Information Technology, Signalling and Telecommunications in Railway Transport JSC, Rostov-on-Don, Russia.*
Sukhanov, Andrey V., *Research and Design Institute for Information Technology, Signalling and Telecommunications in Railway Transport JSC, Rostov-on-Don, Russia*.*

ABSTRACT

Implementation of the Industry 4.0 concept is considered in the context of automation of railway transport. The analysis refers to prerequisites for creation of a universal digital platform integrating automation systems at a marshalling yard.

The example of JSC Russian Railways has contributed to describe the main goals of Digital Station concept, aimed at fusion of data from low-level local automation equipment. The presented functionality of the system for control and processing information on movements of wagons and locomotives at the station in real time (SCPI MWL RT) implements the set goals by integrating initial data from all automation and centralised traffic control systems operating at the station, checking it for consistency, eliminating information redundancy and generating in real time the current model of a marshalling yard regarding trains and wagons and based on data «from the wheel».

Description of the existing functionality of SCPI MWL RT, implemented at a facility, is followed by the analysis of the advantages of this system for the railway cargo transportation network. The objective of the paper is to present some previously unpublished technical solutions for implementation of the specified functionality. The methods of the research are based on fusion of heterogeneous data received from floor devices, specialised video cameras, as well as from real-time wagon positioning models.

It is shown that adoption of new technical solutions for SCPI MWL RT will allow to considerably improve the quality of planning of technological process of classifying railway wagons and of forecasting the need for infrastructure maintenance. Deep learning algorithms presented ensure functioning of the developed solutions in real time with high accuracy. Further steps described refer to implementation of a digital platform in the form of a digital twin of a marshalling yard, creating thus a prerequisite for development of an intelligent automatic machine to control the marshalling yard, as well as for further planned ways to implementation there-of.

Keywords: railway, marshalling yard, intelligent technologies, digitalisation, real-time models, automation systems, digital station.

*Information about the authors:
Shabelnikov, Alexander N. – D.Sc. (Eng), Professor at the Department of Informatics of Rostov State Transport University (RSTU), Rostov-on-Don, Russia, inf-rgups@yandex.ru.
Olgeizer, Ivan A. – Ph.D. (Eng), Head of the Innovation and Intelligent Technology of Digital Station Unit of Rostov branch of Research and Design Institute for Information Technology, Signalling and Telecommunications in Railway Transport JSC (JSC NIIAS), Rostov-on-Don, Russia, olgeyzer@rfniias.ru.
Sukhanov, Andrey V. – Ph.D. (Eng), Deputy Head of the Innovation and Intelligent Technology of Digital Station Unit of Rostov branch of Research and Design Institute for Information Technology, Signalling and Telecommunications in Railway Transport JSC (JSC NIIAS), Rostov-on-Don, Russia, ✉ a.suhanov@rfniias.ru.

Article received 21.05.2020, accepted 18.12.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 60.

BACKGROUND

The use of modern technologies within the framework of Industry 4.0 concept in terms of digitalisation and intellectualisation [1] of the railway infrastructure in general and of marshalling yards, as of the most complex components of cargo flows' servicing system in particular, should lead to a sharp increase in labour productivity, a reduction in operating costs, and a transition to low-population operation technologies followed by a simultaneous increase in safety of technological processes [2].

Now, the most important junction stations of the railway network of JSC Russian Railways, in conformity to the approved «Updated layout and development program of marshalling yards, considering development of auxiliary (technical, pre-junction) stations» and its subprogram «Digital marshalling complex» are subject to on-going design works and implementation of digital modules, the latter ones include:

- Integrated post for automated reception and diagnostics of rolling stock at marshalling yards (PPSS / RPMY[1]) [3].
- Integrated system of automated control of the marshalling process (KSAU SP / ISAC MP) [4].
- Automatic shunting locomotive signalling (MALS / ASLS) [5].
- Interactive console of ISAC MP [6].
- Automation of shunting movements on the hump.
- Automated fencing/securing on stations' tracks.
- Extended information exchange with the automated control system of the station (ASU ST / ACS ST).
- System for control and processing information on movements of wagons and locomotives at the station in real time (SKPI PVL RV / SCPI MWL RT) [7].

A significant drawback in existing information systems at marshalling yards, resulting in significant distortions of the developed values of indicators and limiting the effectiveness of automated operation planning, is associated with the manual input of information about technological operations at the marshalling yard.

Various devices and systems for automated and centralised traffic control are used at marshalling stations: system of automatic identification of rolling stock (SAI PS / SAI RS); subsystems intended for the hump system (ISAC MP), ASLS, automatic system of wagon and train commercial monitoring (ASKOPV / AS), several control and diagnostic systems comprising automatic diagnostics system of signalling, blocking and centralised traffic control equipment (ADK SCB / ADS SBCTC), hardware and software system of dispatching control (APK DK / HSS DC), etc. But none of these systems can develop a full-fledged, adequate station model comprising information on wagons and trains in real time since information in each of the listed systems is not complete and self-sufficient. So, for example, SAI RS does not provide control of wagons not equipped with identification sensors, and provides control only at the station entrance and exit; ASLS system is able to control only shunting locomotives equipped with appropriate on-board equipment; systems intended for the hump system control only the area of the hump and of sorting tracks, etc.

The objective of «Digital Sorting Complex» subprogram is to create a digital platform based on which fusion of data received from the low-level local automation devices is provided, namely:

- Integration of initial information from all automation and centralised traffic control systems operating at the station.
- Checking the received information for consistency.
- Elimination of information redundancy.
- Development in real time of the current marshalling yard's model considering wagons and trains and based on data «from the wheel».

The *objective* of this paper is to describe a part of developments within the framework of «Digital Sorting Complex» subprogram, namely, to present previously unpublished technical solutions aimed at increasing

[1] Hereinafter the former abbreviation is transliteration of the original term in Russian, the latter is based on the translated full term. Translated abbreviations are used further in the text. – *Interpreter's note.*

reliability of the model of location of mobile units.

The *methods* of the research are tools of fusion of heterogeneous data obtained from floor devices, specialised video cameras, as well as of real-time wagon positioning models.

RESULTS

The main tasks of the digital platform being developed

The *digital rail station* should provide comprehensive automation of control and monitoring of technological processes, the state of the station infrastructure in real time based on integration of systems of local low-level automation and on exclusion of manual input of information. The rail digital station, thanks to a dynamic digital model of the station, will allow building the schedule of the work performed (GIR/SWP) of the station only according to the correct and relevant actual data.

Based on this, a digital station should be built on the following principles [8]:

• Coverage of station tracks with control devices capable to maintain a reliable digital model of the station.

• Continuous monitoring of the state of all devices, mechanisms, mobile units via the Internet of Things, creating predictive diagnostic algorithms for predictable technical and technological maintenance of infrastructure facilities, adding station personnel to the system network.

• Continuous maintenance of the digital model of the station at several levels: the schedule of completed and planned operations, the actual state of floor devices, location of rolling stock, location of locomotives, location of personnel.

The implementation of the above principles to one degree or another, independently or in conjunction with other modules of the digital sorting complex, as well as with upper-level information systems (ACS of the station), is carried out by a system for control and processing information on movements of wagons and locomotives at the station in real time (SCPI MWL RT). SCPI MWL RT was developed by the specialists of JSC NIIAS based on many years of experience in automating sorting and classifying processes at the most important stations of the railway network of JSC Russian Railways.

The development of SCPI MWL RT is aimed at:

• Construction of a single system for recording events at the marshalling station in real time, independent of the specific type of low-level local automation systems and floor equipment.

• Providing the station's ACS with reliable information about the actual movements of rolling stock, the start and end times of technological operations at the station according to real data.

For these purposes, the system has already implemented:

• Collection of information from the systems of low-level automation and ACS of the station.

• Tracking and recording the movement of rolling stock at the station.

• Transmission of information on changes in accumulation of rolling stock on the tracks of the marshalling yard to ACS ST.

• Transmission of information on beginning and completion of technological operations on the station tracks to ACS ST.

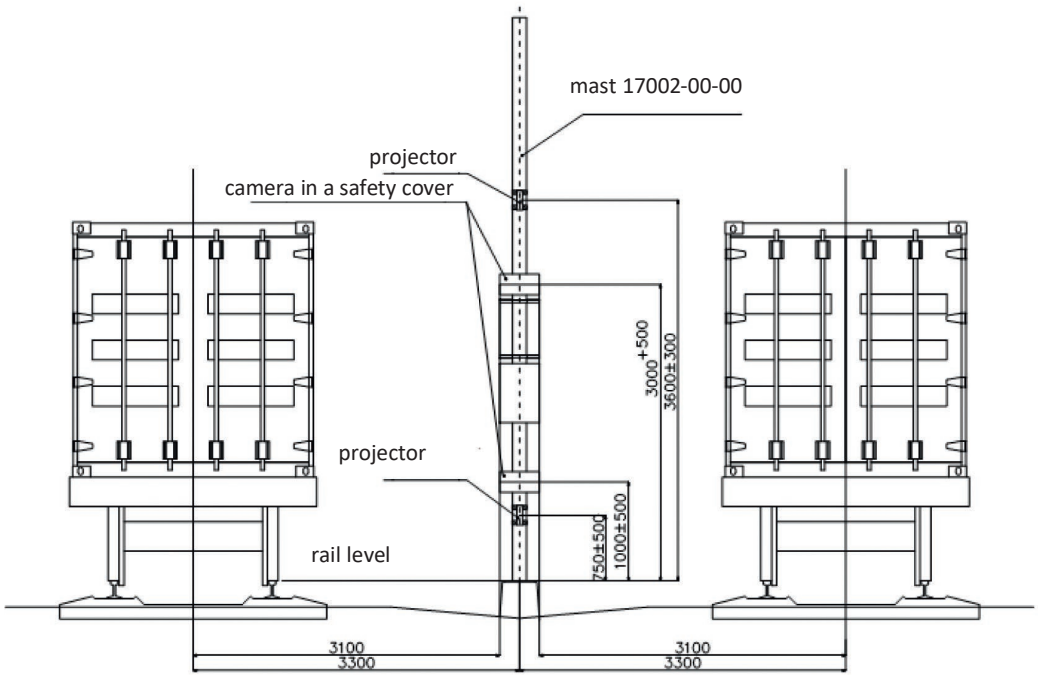
• Displaying the current location of rolling stock on AWS screens (including remote ones) and on the board intended for collective use by the station's operational dispatching personnel.

• Logging of the recorded movements of rolling stock at the station.

• Logging of messages during exchange with other ACSs.

• Diagnostics of the fixed and floor devices of the signalling, blocking and centralised traffic control system of the marshalling yard.

In fact, at present, SCPI MWL RT is not only an independent system for collecting and processing information from devices of low-level local automation equipment but is also an aggregator of information from automation systems controlling individual zones of the station (ISAC MP, RPMY, fencing control systems, etc.).



Pic. 1. Placement of the UCP (JSC NIIAS).

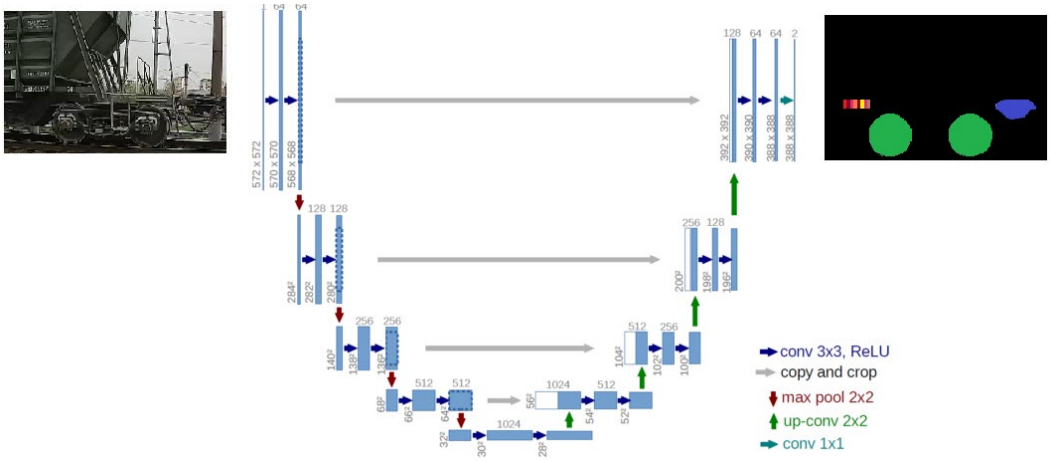
Within the framework of the paradigm of the Internet of Things and other intelligent technologies of Industry 4.0, considering the large number of already implemented automation systems at stations and the emerging new technical tools, there is the need to develop the SCPI MWL RT to the degree of a common digital station platform for interaction of all systems, devices, mobile units, and personnel at the station in real time through a common virtual network. The main functions of such a digital platform can include:

• Maintaining a single real-time model of the state of all floor devices at the station.

• Maintaining a single real-time model of location of all mobile units at the station (wagon, locomotive, shunted group of wagons, train). The model should include information on the type, dimensions, condition of rolling stock according to data received from RPMY, or from other points



Pic. 2. Illustration of the work of UCP (JSC NIIAS, photo).



Pic. 3. The architecture of the artificial neural network used to identify the contours of automatic couplings, axles, and identification numbers of rolling stock (compiled with the use of [9]).

of identification of movement of rolling stock through the station.

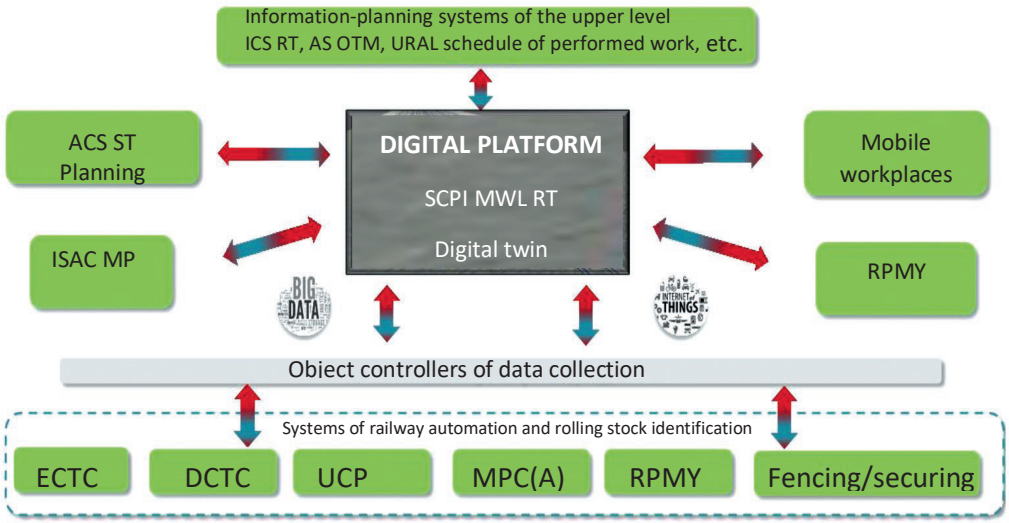
• Maintaining a single real-time model of location of all station personnel located in hazardous areas and having electronic tracking devices.

• Ensuring information interaction between adjacent subsystems according to a common universal protocol of interaction due to information from the real-time model.

• Ability to add new devices, personnel, and systems to the common network.

• Transmission of data on movements of the processed wagon flow and shunting locomotives, as well as on the state of floor devices to the upper-level system for development of plan of operations and of a work schedule according to data received «from the wheel».

• Saving all incoming information to the database.



Pic. 4. Block diagram of interaction between the digital platform and the subsystems of the digital station (compiled by the authors).
IMS RT – the intelligent management system for railway transport, AS OTM – the automated system for operative traffic management, GID URAL – an automated system for maintaining and analysing the schedule of completed traffic, EC, DC, MPC (A) – respectively electric, dispatching, microprocessor-based centralised traffic control systems.

• Using big data on accumulated statistics to analyse bottlenecks and possible additional performance capacity of equipment.

• Troubleshooting and issuing recommendations on necessary maintenance and the sequence of performance of certain technological processes.

The implementation of the above-mentioned functions of a digital platform based on SCPI MWL RT by specialists of JSC NIIAS is planned as part of implementation of the system at Chelyabinsk-Glavny station [Chelyabinsk Main station] as part of the «Digital Sorting Complex» investment program.

As part of implementation of the functions of the digital platform, specialists of the institute have developed and are developing a scientific basis and several additional technical solutions.

Technical solutions for improving SCPI MWL RT to implement the functions of a digital platform

One of the technical solutions designed to increase reliability of the model of location of mobile units at the station is the universal counting point (STU/UCP) developed by the institute's specialists. The structure of the universal counting point includes devices for fixing the axles of rolling stock (UFPO/DFARS), lighting projectors to create uniform illumination of the controlled area and specialised video cameras for identifying the type of rolling stock.

The universal counting point will provide not only identification of the fact of movement and fixation of the total number of axles of the rearranged group of rolling stock, but also control of the inventory [registration] number, the number of moving units and the number of axles of each rolling unit.

The plan of UCP placement in the intertrack space is shown in Pic. 1.

The performance of its functions by UCP is implemented by fusion of data received from floor devices (axle counting sensors, track circuits), from specialised video cameras and from a real-time model of location of all mobile units at the station.

The data received from specialised cameras are pre-processed based on computer vision algorithms (Pic. 2).

The use of deep learning algorithms (Pic. 3, basic architecture of artificial neural network is compiled based on [9]) and parallel computing mechanisms [10] enables data processing and transmission to the central control module in real time. A distinctive feature of the tools used is simultaneous detection of several indicators: automatic couplings, axles and rolling stock numbers.

At the same time, due to interaction of each counting point with the general station model of rolling stock placement, a very high identification accuracy is achieved with a minimum composition of the counting point equipment.

Further stages of project development

The real-time model for placement of mobile units at the station and the state of floor devices with reliable information «from the wheel» will significantly improve quality of planning of the technological process in upper-level information systems (ACS ST), considering the real condition and forecast of the need for infrastructure maintenance.

Only if the basic functions of the digital platform at the station, indicated above, are implemented, will it be possible to implement microprocessor-based centralised traffic control algorithms with the possibility of automatic execution of a route assignment program of any size. This, in turn, will allow solving the problem of creating an intelligent automatic device capable to replace the human when preparing and checking the routes of arriving and departing trains.

In that case, the digital platform turns also in fact into a digital twin [11] of the station for third-party's systems. This allows the use of augmented reality technologies: to present the predicted performance results of the station, i.e., to provide maintenance personnel with information about what will happen at different horizons of work planning; reflect

the current and predict the future state of the station infrastructure facilities, for example, the remaining service life of the compressor station and its maintenance timing.

The digital twin, as the elements, which are digital copies of infrastructure devices, as well as statistics of their functioning, are accumulated and thanks to many fixed variants of their interaction, becomes, in essence, a full-fledged carrier of artificial intelligence.

The proposed structure of interaction between the subsystems of the digital station and the digital platform will look as follows (Pic. 4).

The feature of the proposed structure is the ability to add new subsystems by connecting them to the digital platform using a single communication protocol.

Besides, a human operator will not be able to change physical parameters of the technological process (change in location of rolling stock, control signals of start/end of technological operations) if the proposed changes do not correspond to the readings of the system from technical devices.

The adoption of these systems and modules in various configurations is expected in the next 3–5 years at the 27 most important marshalling stations of the railway network of JSC Russian Railways.

CONCLUSIONS

The paper has described the tasks set during implementation of the Industry 4.0 approaches in automation of railway marshalling yards. The fundamentals of the concept of a digital platform have been presented, which will allow for complex automation of control and monitoring of technological processes in real time based on fusion of data received from various station devices, while the human factor will be excluded.

A newly suggested technical solution – the universal counting point – will allow to increase reliability of the real-time model of the station as part of the proposed platform, the algorithms of its operation are described. Besides, the current state of development and implementation of the proposed digital platform and further plans for the project are presented.

The proposed sufficiently universal approach to the shape of new solutions in terms of digitalisation of marshalling stations can be used at different railways once it is adapted to the existing automatic control systems and equipment.

REFERENCES

1. Shabelnikov, A. N., Sukhanov, A. V. Components of cyber-physical systems as part of KSAU SP [*Komponenty kiberfizicheskikh system v sostave KSAU SP*]. *Avtomatika, svyaz', informatika*, 2020, Iss. 1, pp. 12–14. DOI: 10.34649/AT.2020.1.1.002.

2. Rozenberg, I. N., Shabelnikov, A. N. Digital marshalling yard [*Tsifrovaya sortirovochnaya stantsiya*]. *Zheleznodorozhniy transport*, 2018, Iss. 10, pp. 13–17.

3. Rozenberg, E. N., Batraev, V. V. Development of promising control systems and ensuring safety of train traffic [*Razrabotka perspektivnykh system upravleniya i obespecheniya bezopasnosti dvizheniya poezdov*]. *Bulletin of Joint Scientific Council of JSC Russian Railways*, 2017, Iss. 4, pp. 43–51. [Electronic resource]: https://elibrary.ru/download/elibrary_30763584_22331826.pdf. Last accessed 29.05.2020.

4. Shabelnikov, A. N., Sokolov, V. N. KSAU SP – a new direction of automation of humps [*KSAU SP – novoe napravlenie avtomatizatsii sortirovochnykh gorok*]. *Avtomatika, svyaz, informatika*, 2017, Iss. 8, pp. 2–4.

5. Zamyshlyaev, A. M., Kalinin, A. V., Dolganyuk, S. I. MALS system: problems and perspectives [*Sistema MALS: zadachi i perspektivy*]. *Avtomatika, svyaz, informatika*, 2016, Iss.10, pp. 30–33.

6. Anoshkin, V. V., Shabelnikov, A. N., Shipulin, N. P. Interactive hump console [*Interaktivniy gorochniy pul't*]. *Avtomatika, svyaz, informatika*, 2020, Iss. 5, pp. 11–12.

7. Shabelnikov, A. N., Smorodin, A. N., Complex automation of a junction marshalling yard [*Kompleksnaya avtomatizatsiya uzlovoi sortirovochnoi stantsii*]. *Avtomatika, svyaz, informatika*, 2018, Iss. 4, pp. 12–14.

8. Shabelnikov, A. N., Olgeizer, I. A., Rogov, S. A. From mechanisation to digitalisation of a marshalling yard [*Ot mekhanizatsii k tsifrovizatsii sortirovochnoi stantsii*]. *Avtomatika, svyaz, informatika*, 2018, Iss. 1, pp. 21–23.

9. Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015.MICCAI 2015. Lecture Notes in Computer Science, Springer, Cham, 2015, Vol. 9351, pp. 234–241. [Electronic resource]: https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-319-24574-4_28.pdf. Last accessed 29.05.2020.

10. Sergeev, A., Del Balso, M. Horovod: fast and easy distributed deep learning in TensorFlow // arXiv preprint arXiv:1802.05799, 2018. [Electroic resource]: https://arxiv.org/abs/1802.05799. Last accessed 29.05.2020.

11. Olgeizer, I. A. Digital twin of a sorting hump [*Tsifrovoi dvoinik sortirovochnoi gorki*]. *Avtomatika, svyaz, informatika*, 2020, Iss. 1, pp. 20–22. ●

Acknowledgements. Work was supported by grants from the Russian Foundation for Basic Research (project No. 19-07-00263, 19-07-00195, 20-07-00100, 20-37-51002).

УДК 004; 629.3.053
DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-1-74-90

Перспективы применения искусственного интеллекта и компьютерного зрения в транспортных системах и подключенных автомобилях



Постолит Анатолий Владимирович *– компания Smart Information Systems, Москва, Россия*.*

Анатолий ПОСТОЛИТ

Как показывает статистика, использование на автомобилях искусственного интеллекта и машинного зрения позволяет серьёзно повысить безопасность дорожного движения. Ещё до того, как на дорогах начнёт преобладать беспилотный транспорт, подключенные автомобили с системой ADAS на базе компьютерного зрения позволят серьёзно снизить аварийность на дорогах. Новые автомобильные технологии, такие как машинное зрение, позволяют не только повысить безопасность дорожного движения, но и открывают новые возможности по развитию бизнеса компаний из смежных отраслей, таких как страхование, каршеринг и подготовка водителей. Уже в ближайшем будущем автомобильный рынок, службы автосервиса и близкие к транспорту отрасли кардинально изменятся. А значит те, кто инвестирует в подобные разработки уже сейчас, смогут захватить лидерство в эпоху распространения инновационных технологий.

В современных автомобилях видеокамеры используются не только как альтернатива зеркалу заднего вида, но и являются важной частью систем активной безопасности. Их задача, в первую очередь, заключается в поддержке систем защиты от столкновений при обнаружении объектов. Камеры также используются для слежения за полосой движения, для автоматического распознавания дорожных знаков и светофоров, следят за состоянием водителей. Вместе с радарами и лидарами они используются для управления беспилотными автомобилями. Однако это далеко не все возможные сферы полезного использования видеокамер на борту транспортного средства. С развитием систем искусственного интеллекта, с уменьшением размеров и увеличением мощности бортовых вычислительных средств, с повышением пропускной способности средств мобильной связи и развитием облачных технологий появляется возможность реализации новых сервисов на основе видеокамер и компьютерного зрения.

Исходя из этого, целью данной статьи является анализ тенденций развития искусственного интеллекта, систем компьютерного зрения и, с учётом этих тенденций, формирование перечня полезных сервисов на их основе. В статье приводятся сведения о том, что уже сегодня могут «видеть» автомобили, как они это делают, и какие полезные сервисы можно реализовать для водителей, для транспортных организаций и для связанных с транспортом смежных сфер.

Ключевые слова: транспорт, искусственный интеллект, нейронные сети, машинное обучение, компьютерное зрение, подключенные автомобили.

---

*Информация об авторе:
Постолит Анатолий Владимирович – доктор технических наук, профессор, директор компании Smart Information Systems, Москва, Россия, ✉ anat_post@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 25.01.2021, принята к публикации 26.02.2021.

For the English text of the article please see p. 83.

ВВЕДЕНИЕ

Компьютерное зрение и искусственный интеллект – одни из самых востребованных направлений в современном мире информационных технологий. При этом существует множество «мифов» вокруг компьютерного зрения и искусственного интеллекта. Одни считают, что компьютеры уже легко могут «видеть» и «мыслить», превосходя человека. Другие, наоборот, думают, что это просто фантазии или рекламный ход технологических компаний.

Первые попытки заставить компьютер «видеть» относятся к началу 60-х годов XX века. Однако лишь в последние годы с повышением вычислительных мощностей и объёмов памяти технологии искусственного интеллекта, машинного обучения и компьютерного зрения стали находить всё больше применений в различных отраслях, включая транспорт [1].

Автоиндустрия считается «первопроходцем» в области применения систем машинного зрения и самым крупным их потребителем. Автомобильная индустрия формирует до 23 % рынка продуктов компьютерного зрения. Не удивительно, что машинное зрение стало активно использоваться и в самих автомобилях, а не только на этапах их производства [2]. В настоящее время компьютерное зрение применяют в автопилотировании, при распознавании различных объектов – автомобилей, полос движения, автомобильных номеров, дорожных знаков, светофоров, пешеходов и т.д. С его помощью можно оценить расстояние до соседних автомобилей и их скорость, получить рекомендации по выбору безопасной дистанции и скорости. Оно позволяет оценивать различные действия и состояния водителя, такие как: засыпание, отвлечение от дороги, разговоры по телефону, курение и т.п. Применение компьютерного зрения в автомобилях положительно влияет на снижение аварийности.

Камеры заднего вида, заменившие зеркала, впервые появились в концепткарах. Первым таким автомобилем стал Buick Centurion, представленный в 1956 году [3]. В концептуальной версии автомобиля не было зеркал заднего вида, они были заменены камерой, размещённой в двери багажника. Изображение с камеры выводилось на дисплей, установленный на приборной панели. Конечно, в 1956 году экран монитора выглядел как маленький кинескоп. Идея использовать камеру в качестве зеркал была подхвачена Volvo в 1972 году. Производитель впервые установил её на автомобиле Volvo Experimental Safety Car непосредственно над задним бампером. Ситуация изменилась в 1991 году. На японском рынке появилось третье поколение Toyota Soarer, более известное как Lexus SC (модель Z30). По запросу в автомобиль можно было установить камеру под задним спойлером. Изображение, по традиции, транслировалось на уже цветной экран внутри салона. Камеры заднего вида навсегда вошли в автомобили только после 2000 года [3].

В современных автомобилях видеокамеры являются важной частью систем активной безопасности, а не только как альтернатива зеркалу заднего вида. Они используются для слежения за полосой движения в ночное время, для обнаружения и распознавания дорожных знаков и светофоров, следят за состоянием водителей, сигнализируя о засыпании, участвуют в управлении беспилотными автомобилями. Однако это далеко не все возможные сферы полезного использования видеокамер на борту транспортного средства. В последнее десятилетие далеко продвинулись системы искусственного интеллекта и машинного обучения, возросла мощность бортовых миникомпьютеров. Появились более скоростные каналы в средствах мобильной связи, что дало толчок к развитию облачных технологий и распределённых сервисов.

Исходя из этого, возникла потребность в анализе тенденций развития искусственного интеллекта, систем компьютерного зрения и, с учётом этих тенденций, формирования перечня новых полезных сервисов на их основе, что и явилось *целью* написания данной статьи. Уже сегодня автомобили могут «видеть» и «анализировать» гораздо больше информации, чем раньше. И не только видеть, но и сообщать об увиденном другим участникам дорожного движения и различным наземным службам.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Описание технологии

В современных автомобилях камеры являются важной частью систем активной безопасности. Их задача, в первую очередь, заключается в поддержке систем защиты от столкновений при обнаружении объектов. Камеры также используются для слежения за полосой движения, автоматического распознавания дорожных знаков и светофоров. Вместе с радарами и лидарами они используются для управления беспилотными автомобилями.

По своему функциональному назначению системы компьютерного зрения для пилотируемых автомобилей можно разбить на следующие группы:

- оценка состояния водителя;
- оценка действий водителя;
- оценка окружающей обстановки.

Что касается оценки состояния водителя, то современные системы способны решать следующие задачи:

- фиксация засыпания водителя и выдача сигналов для пробуждения;
- фиксация отвлечения от дороги (курение, разговор по телефону, еда, направление взгляда не на дорогу, нехарактерная поза и т.п.);
- распознавание личности водителя, находящегося за рулём.

Последняя функция актуальна, например, для проверки личности водителя, который должен иметь допуск на управление (таксомоторы, специальный транспорт), для автомобилей каршеринга, где нужно проверить, что за руль сел именно тот человек, который арендовал автомобиль.

С использованием искусственного интеллекта и систем компьютерного зрения можно оценить следующие действия водителя:

- зафиксировать выезд за пределы дорожной разметки или пересечение сплошных линий;
- оценить дистанцию до впереди идущего транспорта и предупредить об опасном сближении;
- определить скорость движения собственного автомобиля и предупредить об опасном превышении;
- зафиксировать агрессивную манеру движения (частая смена полосы – «игра в шашечки»).

Что касается оценки окружающей обстановки, то с помощью видеокамеры, направленной в сторону движения, можно:

- распознать светофоры и их текущие сигналы;
- распознать дорожные знаки с получением подсказки о допустимом режиме движения;
- зафиксировать транспорт, внезапно появляющийся слева или справа с прилегающих дорог;
- распознать пешеходов, велосипедистов, мотоциклистов и другие объекты перед автомобилем и на обочине, получить предупреждение об опасном сближении;
- оценить качество разметки дорожного полотна;
- зафиксировать скорость движения обгоняющего транспорта;
- распознать и зафиксировать автомобильные номера попутного транспорта;
- зафиксировать ДТП или наличие на дороге посторонних предметов, влияющих на безопасность движения (покрышки, большие лужи, ямы, камни, трещины, мусор и т.п.).

С момента своего изобретения автомобили изменились кардинально. Уже испытываются беспилотные и летающие автомобили, которым пророчат большое будущее, а подключенные автомобили (Connected Car) ездят по дорогам уже сегодня. Подключенный автомобиль – это транспортное средство, которое обменивается данными с другими автомобилями и устройствами, сетями и сервисами, охватывающими обширную инфраструктуру, включая дом и офис.

Первыми подключенными автомобилями можно считать автомобили с телефонами, примитивные модели которых выехали на улицы США ещё в 1946 г. Весом более 35 килограмм с ограниченным функционалом автомобильные телефоны первоначально использовали в основном водители-экспедиторы, журналисты и важные персоны [4, с. 1]. В 1968 году произошёл ещё один прорыв, значимый для рынка подключенных автомобилей: фирма Volkswagen представила первую бортовую компьютерную систему [4, с. 1].

Необходимым элементом Connected Car является наличие стабильного канала связи. Если рассматривать вопрос с этой точ-

ки зрения, то первый «подключенный» автомобиль был создан General Motors (GM) в сотрудничестве с Motorola Automotive. Решение называлось OnStar, оно вышло на американский рынок в 1996 году [4, с. 2]. Благодаря этому была реализована возможность подключения автомобиля к сетям сотовой связи и появилась новая ниша для инноваций в области безопасности.

Следующие новшества не заставили себя долго ждать, и уже в 2001 году первые мобильные телефоны были подключены к автомобилю через Bluetooth [4, с. 3]. Этот этап открыл концепцию громкой связи через мобильный телефон, а также положил начало технологиям распознавания голоса. В 2003 году компания GM реализовала возможность получать дистанционные отчёты о состоянии автомобиля, передавать навигационные параметры GPS, получать данные из интернета [4, с. 3]. По мере развития технологий сотовой связи с 2007 года автоконцерны начали один за другим встраивать в свои автомобили телематические системы, использующие каналы передачи данных сотовых операторов. В 2008 году на борту автомобилей впервые появился Wi-Fi [4, с. 3].

В целом «подключенные» функции можно разделить на пять больших категорий – это безопасность (системы помощи водителю ADAS), навигация, информирование и развлечения, диагностика и платежи. Для обеспечения обмена информацией между автомобилями и соответствующими сервисами необходима телематическая платформа, и такая платформа в России уже создаётся. В 2019 году официально запущен проект по её созданию [5], а в декабре 2020 года был утверждён Российский стандарт по сбору автомобильных данных [6].

При наличии такой платформы, а также с учётом последних достижений в области искусственного интеллекта и компьютерного зрения открываются возможности создания новых сервисов для подключенных автомобилей. Кроме автомобилей, которые являются и источниками, и потребителями данных, возникает целый ряд новых потребителей, для которых может быть полезна информация, получаемая от подключенных автомобилей. К таким потребителям помимо граждан, имеющих личный транспорт, могут быть отнесены:

- пассажирские предприятия (автобусные, троллейбусные, трамвайные, таксомоторные);
- агрегаторы таксомоторных перевозок;
- автошколы;
- страховые компании;
- каршеринговые компании;
- подразделения ГИБДД (патрульные службы, подразделения приёма экзаменов по вождению);
- подразделения МВД и МЧС;
- станции скорой помощи;
- дорожные службы.

Рассмотрим более детально, какие новые решения могут быть реализованы для приведённых выше потребителей и граждан при использовании искусственного интеллекта и систем компьютерного зрения в подключенных автомобилях.

Пассажирские транспортные предприятия

Для работников автотранспортных предприятий представляют интерес все решения, которые касаются мониторинга состояния водителей в период их работы на линии и фиксации нарушений ПДД. Это необходимо для оценки водительского поведения, от которого зависит здоровье и жизнь множества пассажиров. Службы безопасности движения автотранспортных предприятий могут с использованием таких систем стажировать водителей, оценивать результаты стажировки, принимать объективное, а не субъективное решение о допуске водителей к работе на маршрутах. Данные мониторинга водительского поведения во время работы на линии позволят поощрять аккуратных водителей и наказывать нарушителей. Кроме того, система компьютерного зрения может фиксировать автомобили, которые выезжают на полосу выделенного движения для общественного транспорта, распознавать их номера и отправлять сведения о нарушителях в органы ГИБДД через телематическую платформу.

Агрегаторы таксомоторных перевозок

Агрегаторы таксомоторных перевозок смогут контролировать манеру вождения водителей во время их работы на линии,

поощрять аккуратных водителей, наказывать нарушителей. Появляется возможность фиксировать личность водителя, находящегося за рулём, контролировать его режим работы (превышение продолжительности смены), выявлять факты работы за рулём водителей, не имеющих лицензии на таксомоторные перевозки. Кроме того, данная система может фиксировать автомобили, которые выезжают на полосу выделенного движения для общественного транспорта, распознавать их номера и отправлять сведения о нарушителях в органы ГИБДД через телематическую платформу. Видеокамера, направленная в салон транспортного средства, кроме того, сможет фиксировать случаи неадекватного поведения пассажиров, включая нападения на водителя, а также контролировать выручку.

Автошколы (интеллектуальный инструктор)

Система компьютерного зрения сможет контролировать количество часов учебного вождения каждого курсанта, все факты отвлечения курсанта от дороги, все нарушения ПДД, неуверенное движение в пределах дорожной разметки, несоблюдения дистанции или скоростного режима. Это поможет курсанту просмотреть видеоматериалы, самостоятельно или с инструктором автошкол выполнить аналитический разбор ошибок, совершённых во время учебных заездов. В процессе обучения можно объективно оценивать степень подготовленности того или иного курсанта, принимать обоснованное решение о качестве обучения и о возможности допуска курсанта к экзаменам в ГИБДД.

Подразделения ГИБДД (приём экзаменов по вождению)

Во время сдачи экзамена по вождению система компьютерного зрения сможет объективно зафиксировать все ошибки и нарушения, сделанные курсантом во время теста. Инспекторы ГИБДД смогут объективно оценивать степень подготовленности того или иного курсанта автошколы. Система позволит указать на все допущенные ошибки курсанта и подвести итог экзамена в виде балльной оценки по совокупности всех ошибок. Это позволит повысить объективность принятия решения о сдаче или несдаче экзамена по вождению. Система поможет исключить пропуски ошибочных действий водителя из-за невнимательности экзаменатора или, наоборот, не даст возможность приписать ошибки в случае предвзятых действий экзаменатора. Видеоматериалы теста могут быть использованы в случаях подачи апелляции со стороны курсанта, для оценки качества работы инспекторов, принимающих экзамены. Накопленные данные позволят объективно оценить эффективность и качество работы автошкол.

Подразделения ГИБДД (патрульные службы)

В случае объявления автомобиля в розыск он вносится в базу разыскиваемых автомобилей телематической платформы. Все подключенные транспортные средства (автобусы, троллейбусы, трамваи, таксомоторы, грузовые автомобили, транспорт каршеринга, личные автомобили, специальный транспорт) в автоматическом режиме через телематическую платформу получат сведения о разыскиваемой машине. В процессе движения видеокамеры этих автомобилей смогут в фоновом режиме распознавать номера всех окружающих автомобилей. В случае обнаружения разыскиваемого автомобиля его местонахождение будет передано через телематическую платформу патрульным службам ГИБДД, которые смогут произвести его оперативное задержание. Таким образом, к обнаружению разыскиваемого автомобиля одномоментно подключатся десятки или даже сотни тысяч машин в заданном регионе, что обеспечит оперативность его поиска и перехвата. Кроме того, все подключенные транспортные средства могут быть задействованы в выявлении фактов нарушения скоростного режима попутного транспорта. Обработав видеопоток, можно определить скорость обгоняющего транспортного средства, при превышении допустимой скорости зафиксировать его номер и передать в телематическую платформу данные о нарушителе скоростного режима. Это по сути миллионы мобильных камер фиксации нарушений скоростного режима. Такой подход позволит значительно снизить количество ДТП, связанных с превышением скорости.

Страховые компании

Для страховых компаний представляют интерес все функции систем компьютерного зрения, которые касаются оценки состояния водителя и соблюдения им ПДД. Достоверные результаты мониторинга водительского поведения могут служить основой для персонального снижения или увеличения суммы страховых взносов. Кроме того, по обоюдному согласию страховой компании и владельца автомобиля застрахованное транспортное средство может быть задействовано в системе фиксации нарушений ПДД и в системе «перехват» угнанных автомобилей. За это страховые компании смогут получить дополнительный доход от государственных структур (как организатор создания сети мобильных камер), а страхователь транспорта – скидки на страховку (за счёт использования его автомобиля в вышеназванных системах).

Каршеринговые компании

Владельцы каршеринговых компаний смогут осуществлять мониторинг манеры вождения своих клиентов. Появляется возможность фиксировать личность водителя, находящегося за рулём, контролировать его режим работы (превышение продолжительности непрерывного управления автомобилем, управление в неадекватном состоянии), выявлять факты нахождения за рулём водителей, не имеющих допуск к арендуемому транспорту. Блокировать движение автомобиля с места в том случае, если за руль сел не зарегистрированный в системе водитель. Достоверные результаты мониторинга водительского поведения могут служить основой для персонального снижения или увеличения платы за аренду автомобиля. Транспорт каршеринговой компании может быть задействован в системе фиксации нарушений ПДД и в системе «перехват» угнанных автомобилей. За это каршеринговые компании смогут получить дополнительный доход от государственных структур (как организатор создания сети мобильных камер), за счёт этих средств частично снижать арендную плату, что может привлечь большее число клиентов.

Дорожные службы

Все подключенные автомобили могут быть задействованы в системе мониторинга состояния дорог (качество разметки, ямы, трещины) и наличия на дороге или обочине посторонних предметов, влияющих на безопасность движения (покрышки, большие камни, мусор и т.п.). Эта информация будет автоматически поступать в телематическую платформу, а из неё соответствующим дорожным службам. Это позволит оперативно информировать дорожные службы о наличие проблем на удалённых участках дорог и принимать соответствующие меры по их устранению. Кроме того, другие подключенные автомобили получат оперативную информацию о наличии опасности на том или ином участке дороги.

Телематическая платформа

Данная платформа выступает как единый центр сбора и обработки данных с подключенных автомобилей о различных типах нарушений ПДД, мониторинга состояния водителей и водительского поведения, поиска угнанных автомобилей, состоянии дорог и т.п. Через данную платформу происходит обмен данными между подключенным транспортом и потребителями поступающей с него информации. Здесь формируются отчётные статистические данные, на основе которых будут приниматься решения о принятии тех или иных мер по повышению безопасности движения. Можно также наладить контроль выполнения тех или иных мероприятий (например, заделана ли яма на дороге, убран ли мусор с обочины, исправлена ли стёртая дорожная разметка и т.п.).

Принципиальная схема работы программных средств компьютерного зрения для подключенных автомобилей представлена на рис. 1.

Для реализации системы компьютерного зрения на подключенном автомобиле кроме спутникового навигационного приёмника необходимо иметь, как минимум, две портативные видеокамеры (для обзора салона и дороги перед автомобилем) и миникомпьютер с соответствующим программным обеспечением, которое решает следующие задачи:

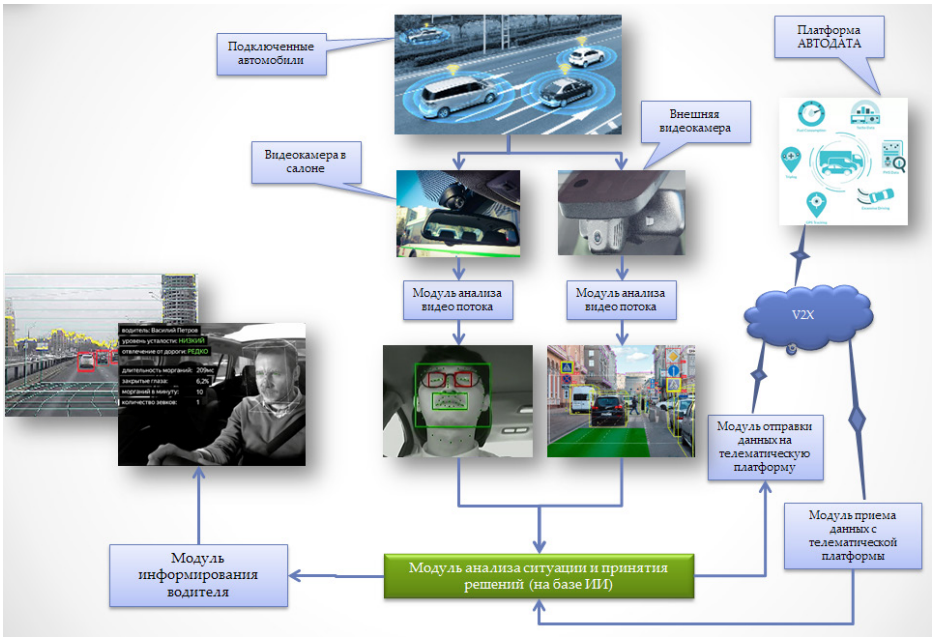


Рис. 1. Принципиальная схема работы программных средств компьютерного зрения для подключенных автомобилей (выполнено автором).

• анализ видеопотока;

• анализ текущей ситуации и принятия решений;

• связь с телематической платформой (отправка и получение данных);

• информирование водителя.

Данное программное обеспечение работает в следующей последовательности. Модуль анализа видеопотока в фоновом режиме обрабатывает поступающие изображения, сегментирует и распознаёт различные объекты. Модуль анализа текущей ситуации и принятия решений обеспечивает формирование журнала различных событий, которые касаются состояния водителя, его действий, параметров окружающей среды и дорожной обстановки. Модуль связи с телематической платформой обеспечивает отправку на серверную площадку информации из журнала событий и получение полезной информации с телематической платформы. Модуль информирования доводит до водителя все полезные оперативные сведения в виде звуковых или визуальных сообщений.

В настоящее время компания Smart Information Systems приступила к реализации программного обеспечения сервисов для подключенных автомобилей. Решение подобного класса задач основано на использовании нейронных сетей, машинного обучения и различных методов обработки изображений. При этом используются следующие инструментальные средства:

• язык программирования Python;

• специализированные библиотеки для построения нейронных сетей и машинного обучения (Keras [7], PyBrain [8], Scikit-learn [9], TensorFlow [10], PyTorch с torchvision [11] и др.);

• библиотеки для обработки изображений и работы с матрицами (OpenCV [12], ImageAI [13], 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 подключенных автомобилей, в частности:

• нейронные сети R-CNN для распознавания объектов дорожной инфраструктуры (дорожная разметка, автомобили, пешеходы, светофоры, дорожные знаки и т.п.);

• модули сегментации и кластеризации изображений на основе каскадов Хаара;

• модули распознавания и сегментации экземпляров объектов на базе сетей Mask R-CNN;

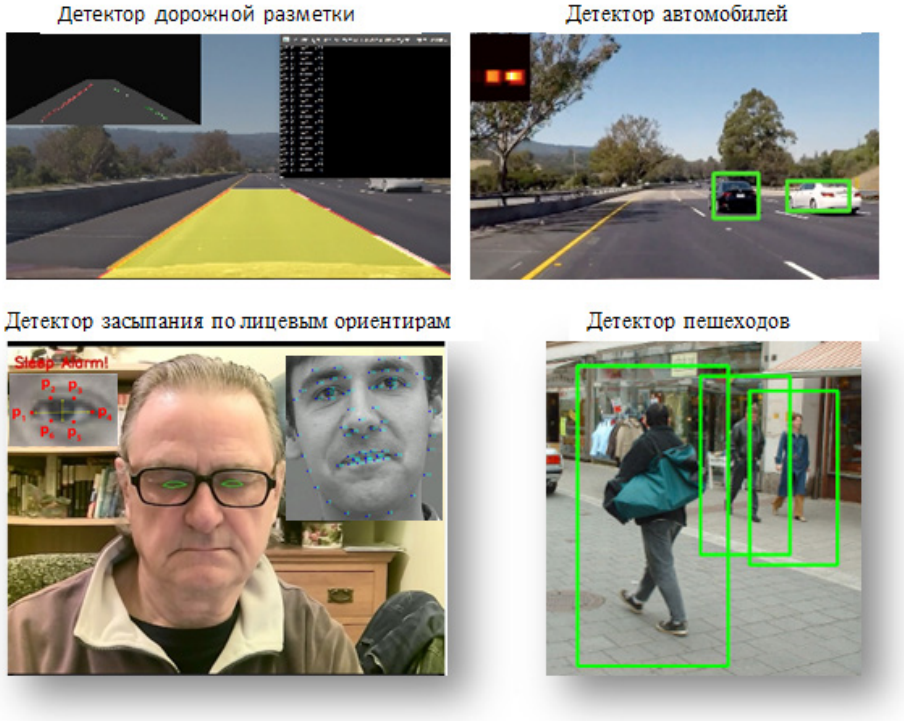


Рис. 2. Примеры работы некоторых программных модулей компьютерного зрения для подключенных автомобилей (выполнено автором).

• модули распознавания состояния водителя на основе детекторов лицевых ориентиров и элементов лица (засыпание, отвлечение от дороги, разговор по телефону и т.п.).

Примеры работы некоторых программных модулей приведены на рис. 2.

Количество подключенных автомобилей постоянно растёт. Если в 2015 году в мире было 26,5 млн подключенных автомобилей, то к 2022 году их количество возрастёт до 82,5 млн [14]. В России, где к настоящему моменту зарегистрировано 53 млн транспортных средств [15], наблюдается аналогичная тенденция. Если по итогам 2019 года количество подключенных автомобилей было около 8,4 млн, то к 2025 году ожидается их увеличение до 20 млн (рис. 3) [16].

Постоянный рост количества подключенных автомобилей говорит о перспективах востребованности для них систем компьютерного зрения. Однако есть достаточно серьёзный фактор, который сдерживает развитие на автомобильном транспорте систем, основанных на нейросетевых технологиях обработки изображений, – это нехватка квалифицированных кадров. Согласно статистике общее количество ИТ-специалистов в России среди трудоспособного населения составляет всего 1,5 %. Для сравнения в Финляндии – 7 %, Великобритании – 5 %, Норвегии 5,5 %. Годовая потребность в ИТ-специалистах для России на 2020 год составляла 220 тыс., к 2024 году она возрастёт до 300 тыс. чел. [17]. Для создания систем на базе искусственного интеллекта нужны не просто программисты, а специалисты с глубоким знанием высшей математики и пониманием процессов в той прикладной области, для которой разрабатываются интеллектуальные системы. В настоящее время в России уже более 50 вузов готовят специалистов по искусственному интеллекту. Однако всё равно ощущается острая нехватка таких специалистов. Для покрытия этих потребностей нужны меры по подготовке кадров соответствующей квалификации. С этой точки зрения была своевременно запущена реализация Федерального проекта «Кадры для цифровой экономики». Эти шаги позволят ускорить темпы развития нейросетевых технологий и систем компьютерного зрения, в том числе и на автомобильном транспорте.



Рис. 3. Динамика роста в России количества подключенных автомобилей [16].

ВЫВОДЫ

1. Компьютерное зрение и искусственный интеллект является, пожалуй, самым востребованным направлением развития информационных технологий.

2. Количество подключенных автомобилей постоянно растёт, появляются автомобили с полуавтономным и автономным вождением, соответственно востребованность инновационных сервисов на основе компьютерного зрения для этой группы автомобилей будет только возрастать.

3. Для успешного создания и развития новых видов сервисов для подключенных и беспилотных автомобилей требуется пересмотр и совершенствование системы подготовки кадров, реализация новых видов образовательных программ с упором на изучение специальных разделов математики, нейронных сетей, машинного обучения и компьютерного зрения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Компьютерное зрение и искусственный интеллект: современные мифы и перспективы применения. [Электронный ресурс]: https://integral-russia.ru/2019/06/28/kompyuternoe-zrenie-i-iskusstvennyj-intellekt-sovremennye-mify-i-perspektivy-primeneniya/. Доступ 25.02.2021.

2. Машинное зрение: что и как видят автомобили. [Электронный ресурс]: https://habr.com/ru/company/wayray/blog/407775/. Доступ 25.02.2021.

3. Камеры: технология, которая изменила облик автомобилестроения. [Электронный ресурс]: https://bezopasnik.info/%D0S%BA%D0S%B0S%D0S%BC%D0S%B5S%D1S%80S%D1S%8B-%D1S%82S%D0S%B5S%D1S%85S%D0S%BD%D0S%BE%D0S%BB%D0S%BE%D0S%B3S%D0S%B8S%D1S%8F-%D0S%BA%D0S%BE%D1S%82S%D0S%BE%D1S%80S%D0S%B0S%D1S%8F-%D0S%B8S%D0S%B7S%D0S%BC%D0S%B5S%D0S%BD%D0S%B8S%D0S%BB%D0S%B0-%D0S%BE/. Доступ 25.02.2021.

4. Краткая история Connected Cars: что считать «подключенными машинами» и почему ближайшее будущее не в беспилотниках? [Электронный ресурс]: https://habr.com/ru/company/bright-box/blog/336078/. Доступ 25.02.2021.

5. В России стартовал проект платформы «Автодата». [Электронный ресурс]: https://ntinews.ru/news/khronika-rynkov-nti/autonet/ v-rossii-startoval-proekt-platformy-avtodata.html. Доступ 25.02.2021.

6. ГОСТ Р 59237-2020. Платформа «Автодата». Термины и определения. [Электронный ресурс]: http://nd.gostinfo.ru/document/6823879.aspx. Доступ 25.02.2021.

7. Keras tutorial points (simply easy lerning). [Электронный ресурс]: https://www.tutorialspoint.com/keras/keras_tutorial.pdf. Доступ 25.02.2021.

8. Welcome to PyBrain's documentation! [Электронный ресурс]: http://pybrain.org/docs/. Доступ 25.02.2021.

9. Documentation of scikit-learn 0.19.1. [Электронный ресурс]: https://www.sklearn.org/documentation.html. Доступ 25.02.2021.

10. TensorFlow. API Documentation. [Электронный ресурс]: https://www.tensorflow.org/api_docs?hl=ru.

11. Pytorch documentation. [Электронный ресурс]: https://pytorch.org/docs/stable/index.html. Доступ 25.02.2021.

12. Writing documentation for OpenCV. [Электронный ресурс]: https://docs.opencv.org/master/d4/db1/tutorial_documentation.html. Доступ 25.02.2021.

13. Official English Documentation for ImageAI. [Электронный ресурс]: https://imageai.readthedocs.io/en/latest/. Доступ 25.02.2021.

14. Российский рынок M2M/IoT в транспортной отрасли растёт опережающими темпами. [Электронный ресурс]: https://www.iksmedia.ru/news/5267002-Kakovy-perspektivy-rossijskogo-rynk.html. Доступ 25.02.2021.

15. Автостат (аналитическое агенство). [Электронный ресурс]: https://yandex.ru/turbo/autostat.ru/s/news/42973/. Доступ 25.02.2021.

16. Практически каждый шестой автомобиль в России имеет сетевое подключение. [Электронный ресурс]: https://3dnews.ru/1015447. Доступ 25.02.2021.

17. Потребность в ИКТ-кадрах вырастет на четверть. [Электронный ресурс]: https://www.comnews.ru/content/204216/2020-01-27/2020-w05/potrebnost-ikt-kadrakh-vyrastet-chetvert. Доступ 25.02.2021.

DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-1-74-90

Prospects for the Use of Artificial Intelligence and Computer Vision in Transport Systems and Connected Cars



Postolit, Anatoly V., *Smart Information Systems Company, Moscow, Russia*.*

Anatoly V. POSTOLIT

ABSTRACT

As statistics show, the use of artificial intelligence and machine vision for cars can significantly improve road safety. Even before self-driving vehicles dominate the road, connected vehicles with computer vision-based ADAS will dramatically reduce road accidents. New automotive technologies such as machine vision not only improve road safety, but also open new business opportunities for companies from related industries and sectors such as insurance, car sharing and driver training. Soon, the automotive market, car service services and industries close to transport will change dramatically. This means that those who invest in such developments right now will be able to seize leadership in the era of the spread of innovative technologies.

In modern cars, video cameras are used not only as an alternative to the rear-view mirror but are also an important part of active safety systems. Their task, first, is to support collision protection systems through object detection. Cameras are also used to keep track of the lane, to automatically recognise road signs and traffic lights, and monitor the condition of drivers. Together with radars and lidars, they are used to control unmanned vehicles. However, these are far from all the possible areas of useful application of video cameras on board a vehicle. With development of artificial intelligence systems, a decrease in size and an increase in the power of on-board computing facilities, as well as with an increase in the throughput of mobile communications and development of cloud technologies, it becomes possible to implement new services based on video cameras and computer vision.

For this reason, the objective of this article is to analyse the trends in development of artificial intelligence, computer vision systems and, considering these trends, to form a list of useful services based on them. The article provides information about what cars can «see» today, how they do it, and what useful services can be implemented for drivers, for transport organisations and for areas related to transport.

Keywords: *transport, artificial intelligence, neural networks, machine learning, computer vision, connected cars.*

---

*Information about the author:
Postolit, Anatoly V. – D.Sc. (Eng), professor, director of Smart Information Systems Company, Moscow, Russia, ✉ anat_post@mail.ru.

Article received 25.01.2021, accepted 26.02.2021.

For the original Russian text of the article please see p. 74.

BACKGROUND

Computer vision and artificial intelligence are among the most demanded areas in the modern world of information technology. At the same time, there are many «myths» around computer vision and artificial intelligence. Some believe that computers can already easily «see» and «think», surpassing humans. Others, on the contrary, think that this is just a fantasy or a publicity stunt of tech companies.

The first attempts to force a computer to «see» date back to the early 1960s. However, only in recent years, with the increase in computing power and memory capacity, technologies of artificial intelligence, machine learning and computer vision began to find more and more applications in various industries, including transport [1].

The automotive industry is considered the «pioneer» in the field of machine vision systems and their largest consumer. The automotive industry forms up to 23 % of the computer vision market. It is not surprising that machine vision began to be actively used in cars themselves, and not only at the stages of their production [2]. At present, computer vision is used in autopilot driving, when recognising various objects: cars, lanes, license plates, road signs, traffic lights, pedestrians, etc. With its help, it is possible to estimate the distance to neighbouring cars and their speed, get recommendations for choosing a safe distance and speed. It allows evaluating various actions and conditions of the driver, such as: falling asleep, being distracted from the road, talking on the phone, smoking, etc. The use of computer vision in cars has a positive effect on reducing accidents.

Rear-view cameras, replacing mirrors, first appeared in concept cars. The first such car was the Buick Centurion, appeared in 1956 [3]. There were no rear-view mirrors in the concept version of the car; they were replaced by a camera housed in the tailgate. The image from the camera was displayed on a display mounted on the dashboard. Of course, in 1956 the monitor screen looked like a small picture tube. The idea of using the camera as a mirror was taken up by Volvo in 1972. For the first time, the manufacturer installed it on a Volvo Experimental Safety Car directly above the rear bumper. The situation changed in 1991. The third generation Toyota Soarer, better known as the Lexus SC (model Z30), entered the Japanese market. On request, a camera could be installed in the car under the rear spoiler. The image, according to tradition, was broadcast on an already coloured screen inside the cabin. Rear-view cameras have entered cars forever only since 2000 [3].

In modern cars, video cameras are an important part of active safety systems, and not only as an alternative to the rear-view mirror. They are used to keep track of the lane at night, to detect and recognize road signs and traffic lights, monitor the condition of drivers, signalling about falling asleep, and to participate in driving unmanned vehicles. However, these are far from all the possible areas of useful application of video cameras on board a vehicle. In the last decade, artificial intelligence and machine learning systems have advanced far, and the power of on-board minicomputers has increased. More high-speed channels appeared in mobile communications, which gave impetus to development of cloud technologies and distributed services.

Proceeding from this, a need arose to analyse the trends in development of artificial intelligence, computer vision systems and, considering these trends, to form a list of new useful services based on them, which was the *objective* of writing this article. Already today, cars can «see» and «analyse» much more information than before. And not only to see, but also to report what it saw to other road users and various ground services.

RESULTS

Technology description

In modern cars, cameras are an important part of active safety systems. Their task, first, is to support collision protection systems through object detection. Cameras are also used for lane tracking, automatic recognition of road signs and traffic lights. Together with radars and lidars, they are used to control unmanned vehicles.

According to their functional purpose, computer vision systems for manned vehicles can be divided into the following groups:

- Assessment of the driver's condition.
- Assessment of the driver's actions.
- Assessment of the environment.

As for assessment of the driver's condition, modern systems can solve the following tasks:

- Detection of the driver falling asleep and issuing signals for waking up.

• Detection of driver's distraction from the road (smoking, talking on the phone, eating, looking not at the road, uncharacteristic posture, etc.).

• Recognition of the identity of the driver who is behind the wheel.

The latter function is relevant, for example, for checking the identity of the driver, who must have a permit for driving (taxis, special vehicles), for carsharing cars, where it is necessary to check that the person who rented the car got behind the wheel.

Using artificial intelligence and computer vision systems, the following driver actions can be assessed:

• To fix the exit outside the road markings or the intersection of solid lines.

• To estimate the distance to the vehicle in front and warn of a dangerous approach.

• To determine speed of own car and to warn about a dangerous speed excess.

• To fix the aggressive driving manner (frequent lane change, e.g., «checkers game»).

As for assessment of the environment, then using a video camera directed in the direction of movement, it is possible to:

• Recognise traffic lights and their current signals.

• Recognise road signs with getting a hint about the permissible mode of movement.

• Detect vehicles suddenly appearing on the left or right from adjacent roads.

• Recognise pedestrians, cyclists, motorcyclists and other objects in front of the car and on the side of the road, receive a warning about a dangerous approach.

• Assess quality of roadway markings.

• Fix speed of the overtaking vehicle.

• Recognise and fix license plates of vehicles driving in the same direction.

• Register an accident or the presence on the road of foreign objects affecting traffic safety (tires, large puddles, holes, stones, cracks, debris, etc.).

Since their invention, cars have changed dramatically. Self-driving and flying cars are already being tested. They are predicted a great future, and connected cars are driving on the roads today. A connected car is a vehicle that exchanges data with other vehicles and devices, networks and services spanning a wide range of infrastructure, including home and office.

The first connected cars can be considered cars with telephones, the primitive models of which hit the streets of the United States back in 1946. Weighing more than 35 kilograms with limited functionality, car telephones were originally used mainly by drivers-forwarders, journalists, and important persons [4, p. 1]. In 1968 another breakthrough took place for the Connected Car market. Volkswagen introduced the first on-board computer system [4, p. 1].

A necessary element of Connected Car is a stable communication channel. Viewed from this perspective, the first «connected» car was created by General Motors (GM) in collaboration with Motorola Automotive. The solution was called OnStar, it entered the American market in 1996 [4, p. 2]. This enabled the vehicle to be connected to cellular networks and created a new niche for safety and security innovation.

The following innovations were not long in coming, and already in 2001, the first mobile phones were connected to the car via Bluetooth [4, p. 3]. This stage opened the concept of hands-free communication via a mobile phone, and laid the foundation for voice recognition technologies. In 2003, GM implemented the ability to receive remote reports on the condition of the vehicle, transmit GPS navigation parameters, and receive data from the Internet [4, p. 3]. With development of cellular communication technologies, since 2007, carmakers have begun to one by one embed telematics systems into their cars using the data transmission channels of cellular operators. In 2008, Wi-Fi first appeared on board cars [4, p. 3].

In general, «connected» functions can be divided into five broad categories: safety (ADAS driver assistance systems), navigation, information and entertainment, trouble-shooting, and payments. To ensure the exchange of information between cars and the corresponding services, a telematics platform is needed, and such a platform is already being created in Russia. In 2019, a project was officially launched to create such a platform [5], and in December 2020, the Russian standard for collection of automotive data was approved [6].

With such a platform, as well as considering the latest advances in artificial intelligence and computer vision, opportunities open to create new services for connected cars. Besides cars, which are both sources and consumers of data, there are several new consumers that can

benefit from information from connected cars. Such consumers, in addition to citizens with personal transport, may include:

- Passenger transportation enterprises (operating bus, trolleybus, tram, taxi).
- Aggregators of taxi transportation.
- Driving schools.
- Insurance companies.
- Car sharing companies.
- Subdivisions of the traffic police (patrol services, subdivisions of driving examinations).
- Subdivisions of the Ministry of Internal Affairs and the Ministry of Emergency Situations.
- Ambulance stations.
- Road services.

Let us consider in more detail what new solutions can be implemented for the above consumers and citizens using artificial intelligence and computer vision systems in connected cars.

Passenger transportation enterprises

For employees of motor transport enterprises, all solutions that relate to monitoring the condition of drivers during their work on the line and fixing traffic violations are of interest. It is necessary to assess driving behaviour since the health and life of many passengers depends on it. The traffic safety services of road transport enterprises can use such systems to train drivers, evaluate the results of the training, make an objective, and not subjective, decision on the admission of drivers to work on the routes. Driving behaviour monitoring data while working on the line will allow rewarding accurate drivers and punish offenders. In addition, the computer vision system can record cars that violate the borders of the designated traffic lane for public transport, recognise their license plates and send information about offenders to the traffic police through a telematics platform.

Taxi transport aggregators

Taxi transport aggregators will be able to control the driving style of drivers during their work on the line, reward accurate drivers, and punish offenders. It becomes possible to record the identity of the driver who is behind the wheel, to control his mode of operation (e.g., exceeding the duration of the shift), to reveal the facts of work of drivers who do not have a license for taxi transportation. In addition, this system can record cars that enter the designated traffic lane for public transport, recognise their license plates and send information about offenders to the traffic police through a telematics platform. A video camera aimed at the interior of the vehicle, in addition, will be able to record cases of inappropriate behaviour of passengers, including attacks on the driver, as well as monitor revenue.

Driving schools (intelligent instructor)

The computer vision system will be able to control the number of hours of driving instruction for each cadet, all facts of distraction of the cadet from the road, all traffic violations, uncertain movement within the road markings, non-observance of the distance or speed limit. This will help the cadet view the video materials, independently or with a driving school instructor, to carry out an analytical analysis of the mistakes made during the training rides. In the process of training, it is possible to objectively assess the degree of preparedness of a particular cadet, make an informed decision about quality of training and the possibility of admitting a cadet to exams at the traffic police.

Traffic police departments (taking driving exams)

During the driving test, the computer vision system will be able to objectively record all the mistakes and violations made by the cadet during the test. Traffic police inspectors will be able to objectively assess the degree of preparedness of this or that driving school cadet. The system will allow indicating all the mistakes made by the cadet and summarise the results of the exam in the form of a score based on the totality of all mistakes. This will increase the objectivity of the decision whether a cadet has passed or not passed the driving test. The system will help to exclude the omission of erroneous actions of the driver due to the examiner's inattention, or, conversely, will not provide an opportunity to attribute errors in case of biased actions of the examiner. The video materials of the test can be used in cases of filing an appeal from the side of the cadet, to assess quality of the work of the inspectors taking exams. The accumulated data will make it possible to objectively assess the efficiency and quality of driving schools.

Traffic police departments (patrol services)

If a car is declared wanted, it is entered into the database of wanted cars of the telematics platform. All connected vehicles (buses, trolleybuses, trams, taxis, trucks, car-sharing vehicles, personal cars, special vehicles) will automatically receive information about the wanted car through the telematics platform. During movement, video cameras of these cars will be able to recognise the license plates of all surrounding cars in the background. If the wanted car is found, its location will be transferred through the telematics platform to the traffic police patrol services, which will be able to quickly arrest it. Thus, tens, or even hundreds of thousands of cars in a given region will be instantly connected to the detection of the wanted vehicle, which will ensure the efficiency of its search and interception. In addition, all connected vehicles can be involved in identifying violations of the speed limit by the vehicles driving in the same direction. After processing the video stream, it is possible to determine speed of the overtaking vehicle, if the permissible speed is exceeded, fix its number and transfer data about the speeding offender to the telematics platform. In essence, these are millions of mobile cameras that record speed violations. This approach will significantly reduce the number of accidents associated with speeding.

Insurance companies

For insurance companies, all the functions of computer vision systems are of interest since they refer to assessment of the driver's condition and compliance with traffic rules. Reliable results of monitoring driving behaviour can serve as the basis for a personal decrease or increase in the amount of insurance premiums. In addition, by mutual agreement of the insurance company and the owner of the car, the insured vehicle can be involved in the system for detecting traffic violations and in the system of «interception» of stolen vehicles. For this, insurance companies will be able to receive additional income from government agencies (as the developer of a network of mobile cameras), and the owners of the vehicles insured will be provided with discounts on insurance (due to the use of its car in the aforementioned systems).

Car sharing companies

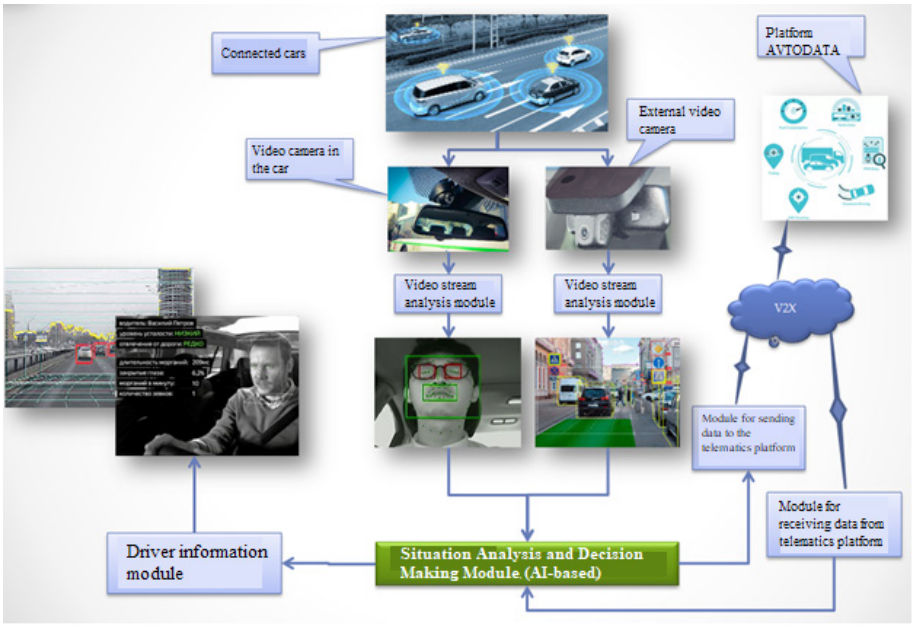
Owners of car sharing companies will be able to monitor the driving style of their customers. It becomes possible to record the identity of the driver, to control his mode of operation (exceeding the duration of continuous driving, driving in an inadequate state), to identify the facts of the use of cars by drivers who do not have access to the rented vehicle, to block the movement of the car from a standstill in case that a driver who is not registered in the system tries to use the car. Reliable results of the monitoring of driving behaviour can serve as a basis for a personal reduction or increase in car rental fees. The vehicles of a car sharing company can be used in the system of detection of traffic violations and in the system of «intercepting» stolen vehicles. For this, car sharing companies will be able to receive additional income from government agencies (as the developer of a network of mobile cameras), and, due to these funds, partially reduce the rent, which may attract a larger number of customers.

Road services

All connected cars can be used in the monitoring system of road conditions (quality of markings, holes, cracks) and the presence of foreign objects on the road or roadside that affect traffic safety (tires, large stones, debris, etc.). This information will automatically go to the telematics platform, and from it to the relevant road services. This will make it possible to promptly inform the road services about the presence of problems on remote segments of the roads and take appropriate measures to eliminate them. In addition, other connected vehicles will receive operational information about the presence of a hazard on a particular section of the road.

Telematics platform

This platform acts as a single centre for collecting and processing data from connected vehicles about various types of traffic violations, monitoring the condition of drivers and driving behaviour, searching for stolen vehicles, road conditions, etc. Through this platform, data is exchanged between the connected transport and consumers of information coming from it. Here, reporting statistical data are formed, based on which decisions will be made on taking certain measures to improve traffic



Pic. 1. Schematic diagram of operation of computer vision software for connected cars (compiled by the author).

safety. It is also possible to establish control over implementation of certain measures (for example, whether a hole on the road has been repaired, whether garbage has been removed from the roadside, whether worn out road markings have been fixed, etc.).

A schematic diagram of operation of computer vision software for connected cars is shown in Pic. 1.

To implement a computer vision system on a connected car, in addition to a satellite navigation receiver, it is necessary to have at least two portable video cameras (for viewing the passenger compartment and the road in front of the car), and a minicomputer with appropriate software that solves the following tasks:

- Video stream analysis.
- Analysis of the current situation and decision-making.
- Communication with the telematics platform (sending and receiving data).
- Informing the driver.

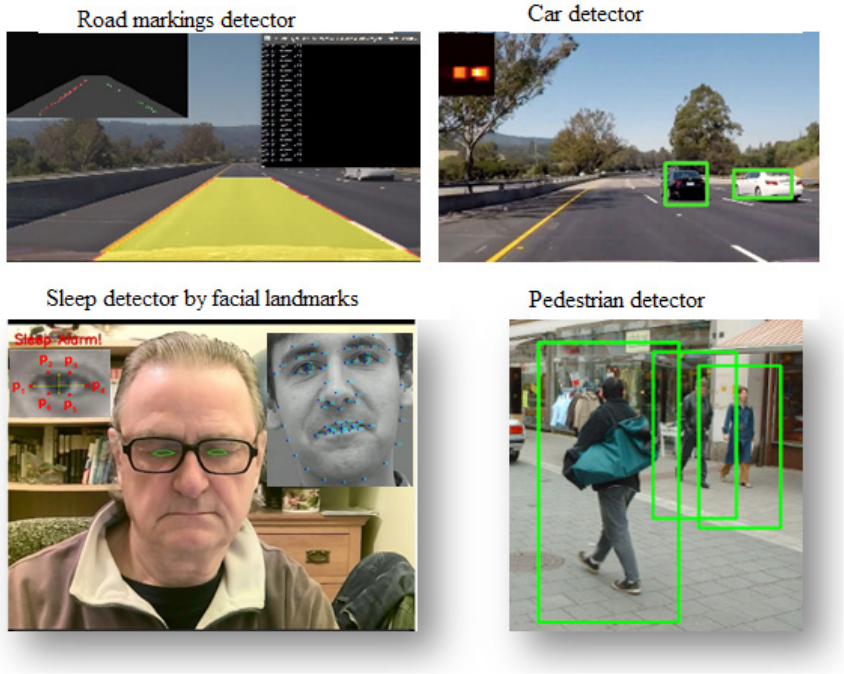
This software works in the following sequence. The video stream analysis module processes incoming images in the background, segments and recognizes various objects. The module for analysing the current situation and making decisions provides formation of a log of various events that relate to the state of the driver, his actions, environmental parameters, and road conditions. The module for communication with the telematics platform ensures sending information from the event log to the server site and receiving useful information from the telematics platform. The information module provides the driver with all useful operational information in the form of audio or visual messages.

Smart Information Systems has now launched services software for connected vehicles. The solution to this class of problems is based on the use of neural networks, machine learning and various methods of image processing. In this case, the following tools are used:

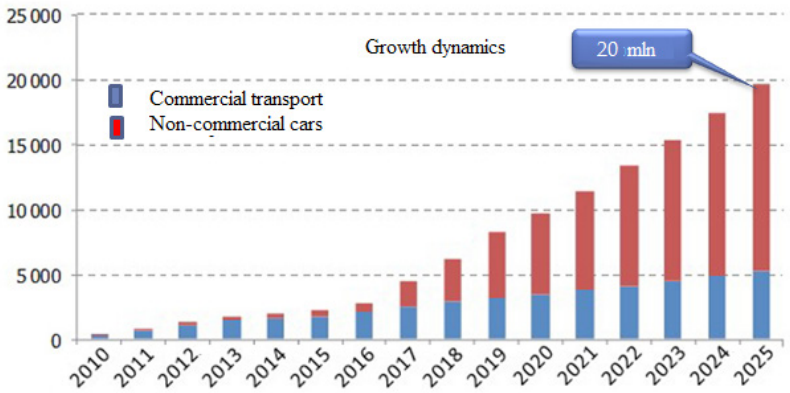
- Programming language Python.
- Specialized libraries for building neural networks and machine learning (Keras [7], PyBrain [8], Scikit-learn [9], TensorFlow [10], PyTorch with torchvision [11], etc.).
- Libraries for image processing and work with matrices (OpenCV [12], ImageAI [13], NumPy).

To simplify development 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 for connected cars have been implemented, in particular:



Pic. 2. Examples of the operation of some software modules of computer vision for connected cars (compiled by the author).



Pic. 3. Dynamics of growth in the number of connected cars in Russia [16].

• Neural networks R-CNN for recognition of road infrastructure objects (road markings, cars, pedestrians, traffic lights, road signs, etc.).

• 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 the driver's state based on detectors of facial landmarks and face elements (falling asleep, being distracted from the road, talking on the phone, etc.).

Examples of the operation of some software modules are shown in Pic. 2.

The number of connected cars is constantly growing. If in 2015 there were 26,5 million connected cars in the world, then by 2022 their number will increase to 82,5 million [14]. In Russia, where 53 million vehicles are currently registered [15], a similar trend is observed. If at the end of 2019 the number of connected cars was about 8,4 million, then by 2025 it is expected to increase to 20 million (Pic. 3) [16].

The constant growth in the number of connected cars indicates the prospects for the demand for computer vision systems for them. However, there is a rather serious factor that hinders development of systems based on

neural network image processing technologies in road transport, and this is the lack of qualified personnel. According to statistics, the total number of IT specialists in Russia among the working-age population is only 1,5 %. For comparison, Finland – 7 %, Great Britain – 5 %, Norway – 5,5 %. The annual need for IT specialists for Russia in 2020 was 220 thousand people, by 2024 it will increase to 300 thousand [17]. To create systems based on artificial intelligence, not just programmers are needed, but specialists with a deep knowledge of higher mathematics and an understanding of the processes in the applied field for which intelligent systems are being developed. Currently, more than 50 universities in Russia are training specialists in artificial intelligence. However, there is still an acute shortage of such specialists. To cover these needs, measures are needed to train personnel with appropriate qualifications. From this point of view, implementation of the Federal project «Human Resources for the Digital Economy» was launched in Russia in a timely manner. These steps will accelerate the pace of development of neural network technologies and computer vision systems, including in road transport.

CONCLUSIONS

1. Computer vision and artificial intelligence form perhaps the most demanded trend in development of information technology.

2. The number of connected cars is constantly growing, cars with semi-autonomous and autonomous driving appear, respectively, the demand for innovative services based on computer vision for this group of cars will only increase.

3. For successful creation and development of new types of services for connected and unmanned vehicles, a revision and improvement of the training system is required, the implementation of new types of educational programs with an emphasis on the study of special sections of mathematics, neural networks, machine learning and computer vision.

REFERENCES

1. Computer vision and artificial intelligence: modern myths and application prospects [*Kompyuternoe zrenie i iskustvenniy intellect: sovremennie mify i perspektivy primeneniya*]. [Electronic resource]: https://integral-russia.ru/2019/06/28/kompyuternoe-zrenie-i-iskusstvennyj-intellekt-sovremennye-mify-i-perspektivy-primeneniya/. Last accessed 25.02.2021.

2. Machine vision: what and how cars see [*Mashinnoe zrenie: chto i kak vidyat avtomobili*]. [Electronic resource]: https://habr.com/ru/company/wayray/blog/407775/. Last accessed 25.02.2021.

3. Cameras: Technology that has changed the face of the automotive industry [*Kamery: tekhnologiya, kotoraya izmenila oblik avtomobilestroeniya*]. [Electronic resource]: https://bezopasnik.info/%D0%BA%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D1%80%D1%8B-%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8F-%D0%BA%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B0%D1%8F-%D0%B8%D0%B7%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%BB%D0%B0-%D0%BE/. Last accessed 25.02.2021.

4. A brief history of Connected Cars: what counts as «connected cars» and why is the near future not in drones? [*Kratkaya istoriya Connected Cars: chto schitat «podklyuchennimi mashinami» i pochemu blizhaishchee budushchee ne v bespilotnikakh?*]. [Electronic resource]: https://habr.com/ru/company/bright-box/blog/336078/. Last accessed 25.02.2021.

5. Avtodata platform project was launched in Russia [*V Rossii startoval proekt platformy «Avtodata»*]. [Electronic resource]: https://ntinews.ru/news/khronika-rynkov-nti/autonet/v-rossii-startoval-proekt- platformy-avtodata.html. Last accessed 25.02.2021.

6. GOST [State Standard] R 59237-2020. Avtodata platform. Terms and Definitions. [*GOST R 59237-2020. Platforma «Avtodata». Terminy i opredeleniya*]. [Electronic resource]: http://nd.gostinfo.ru/document/6823879.aspx. Last accessed 25.02.2021.

7. Keras tutorial points (simply easy lerning). [Electronic resource]: https://www.tutorialspoint.com/keras/keras_tutorial.pdf. Last accessed 25.02.2021.

8. Welcome to PyBrain's documentation! [Electronic resource]: http://pybrain.org/docs/. Last accessed 25.02.2021.

9. Documentation of scikit-learn 0.19.1. [Electronic resource]: https://www.sklearn.org/documentation.html. Last accessed 25.02.2021.

10. TensorFlow. API Documentation. [Electronic resource]: https://www.tensorflow.org/api_docs?hl=ru.

11. Pytorch documentation. [Electronic resource]: https://pytorch.org/docs/stable/index.html. Last accessed 25.02.2021.

12. Writing documentation for OpenCV. [Electronic resource]: https://docs.opencv.org/master/d4/db1/tutorial_documentation.html. Last accessed 25.02.2021.

13. Official English Documentation for ImageAI. [Electronic resource]: https://imageai.readthedocs.io/en/latest/. Last accessed 25.02.2021.

14. The Russian M2M / IoT market in the transport industry is growing at a faster pace [*Rossiiskiy rynok M2M/IoT v transportnoi otrasli rastet operezhayushchimi tempami*]. [Electronic resource]: https://www.iksmedia.ru/news/5267002-Kakovy-perspektivy-rossijskogo-rynk.html. Last accessed 25.02.2021.

15. Autostat (analytical agency). [Electronic resource]: https://yandex.ru/turbo/autostat.ru/s/news/42973/. Last accessed 25.02.2021.

16. Almost every sixth car in Russia has a network connection [*Prakticheski kazhdiy shestoi avtomobil v Rossii imeet setevoe podklyuchenie*]. [Electronic resource]: https://3dnews.ru/1015447. Last accessed 25.02.2021.

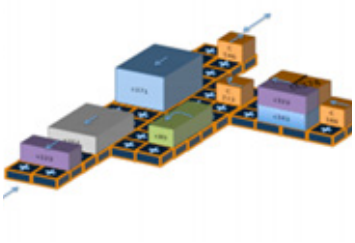
17. The need for ICT personnel will grow by a quarter [*Potrebnost' v IKT-kadrakh vyrastet na chetvert'*]. [Electronic resource]: https://www.comnews.ru/content/204216/2020-01-27/2020-w05/potrebnost-ikt-kadrakh-vyrastet-chetvert. Last accessed 25.02.2021. ●



ЭКОНОМИКА • ECONOMICS

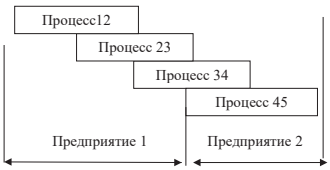
ЦИФРОВАЯ ЛОГИСТИКА 92

Физический интернет: обзор основных тенденций.



ПОТОКИ КАК ОБЪЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ ЦЕПЯМИ 110

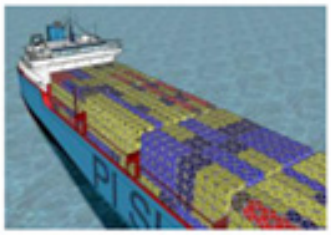
Цепи поставок, ценностей и требований. Подходы и классификации.



Отношения 1–2

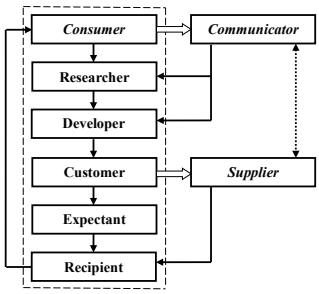
DIGITAL LOGISTICS 101

Physical Internet: review of core trends.



FLOWS AS OBJECT OF CHAIN MANAGEMENT 123

Supply, value, and demand chains. Approaches and classifications.





УДК 656.02
DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-1-92-109

Физический интернет и транспортно-логистические системы цифровой экономики







Василий КУПРИЯНОВСКИЙ **Дмитрий НАМИОТ** **Олег ПОКУСАЕВ**

Куприяновский Василий Павлович *– Российский университет транспорта, Москва, Россия.*
Намиот Дмитрий Евгеньевич *– Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия.*
Покусаев Олег Николаевич *– Российский университет транспорта, Москва, Россия*.*

В работе рассматриваются вопросы развития транспортно-логистических систем с учётом развития физического интернета. Широкое признание получило определение физического интернета как глобальной открытой логистической системы, основанной на принципах физической, цифровой и операционной взаимосвязи, стандартных и свободных «интерфейсах» и «протоколах», по аналогии с цифровым интернетом [1; 2]. Он построен на базе типизации как контейнеров для перевозки грузов, так и средств их обработки и доставки. Это позволяет фактически создать новую отрасль, в которой отправитель груза не указывает вид транспорта, а система работает по принципам цифрового интернета, маршрутизируя контейнеры (аналоги пакетов в цифровом интернете) и собирая их в нужном месте в нужное время. Концепция физического интернета направлена на реализацию полной взаимосвязанности в части информационных, физических и финансовых потоков, нескольких сетей грузовых перевозок и логистических услуг, а также их готовность к беспрепятственному использованию в качестве одной большой логистической сети. Беспрепятственное физическое, цифровое и финансовое соединение логистических сетей будет включать операции транспортировки, хранения и физической обработки грузовых единиц (контейнеров, съёмных кузовов, поддонов и т.д.) [3]. Иными словами – это физические объекты, что и даёт название всей системе – физический интернет. Естественно, что в такой системе неизбежно встаёт вопрос о стандартизации таких физических объектов (по аналогии со стандартизацией пакетов). Отсюда и появляются так называемые π-контейнеры – специальные унифицированные контейнеры для хранения, грузообработки, транспортировки материальных объектов в системе физического интернета. На данный момент физический интернет существует уже не только как теоретическая концепция. Его внедрение осуществляется во многих странах. Есть уже и первые российские компании, которые начали продвижение этой концепции. Целью статьи является обзор текущего состояния этой логистической модели в России и мире на основе анализа источников и практических реализаций.

Ключевые слова: логистика, транспортно-логистические системы, физический интернет, контейнеры, грузовые перевозки, маршрутизация.

*Информация об авторах:
Куприяновский Василий Павлович – заместитель директора Научно-образовательного центра «Цифровые высокоскоростные транспортные системы» Российской открытой академии транспорта (НОЦ ЦВТС) Российского университета транспорта, Москва, Россия, ✉ v.kupriyanovsky@rut.digital.
Намиот Дмитрий Евгеньевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории открытых информационных технологий факультета вычислительной математики и кибернетики (ВМК) Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия, dnamiot@gmail.com.
Покусаев Олег Николаевич – кандидат экономических наук, доцент кафедры высокоскоростных транспортных систем, директор Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта, Москва, Россия, o.pokusaev@rut.digital.

Статья поступила в редакцию 23.03.2020, актуализирована 15.01.2021, принята к публикации 26.02.2021.

For the English text of the article please see p. 101.

ВВЕДЕНИЕ

Роль транспорта и логистики в экономике растёт крайне быстро, и эта тенденция только ускорилась при переходе к цифровой экономике, которая порождает создание новых парадигм в транспортно-логистическом секторе, которые базируются во многом на разнообразных расширениях интернета, использовании новых возможностей. Уже появились термины «интернет поездов, самолётов, судов».

Однако происходит и объективное усложнение процессов организации грузовых перевозок и логистики как в мире, так и в отдельных регионах, например, в ЕС [4]. Эти тенденции не миновали и Россию, которая является важной частью мирового транспортно-логистического пространства.

В связи с растущими потребностями в транспорте и логистике выходом видится постепенный подход к физическому интернету (Physical Internet/ PI / π) – глобальной открытой логистической системе, основанной на принципах физической, цифровой и операционной взаимосвязи, стандартных и свободных «интерфейсах» и «протоколах», по аналогии с цифровым интернетом [1; 2].

Как ранее указывалось исследователями, в том числе и авторами статьи, концепция PI направлена на реализацию полной взаимосвязанности (информационных, физических и финансовых потоков) нескольких (частных) сетей грузовых перевозок и логистических услуг и их готовность к беспрепятственному использованию в качестве одной большой логистической сети [3]. Беспрепятственное физическое, цифровое и финансовое соединение логистических сетей будет включать операции транспортировки, хранения и физической обработки грузовых единиц, таких как контейнеры, съёмные кузова, поддоны и т.д. [3]. Барьеры для того, чтобы стать частью сети, предоставляющей доступ к частным услугам, ресурсам, доступным в сети PI, должны быть очень низкими. В долгосрочной перспективе различные сетевые операторы и поставщики услуг, вероятно, предложат подключение по принципу «включай и работай» заинтересованным сторонам цепочки поставок. Будет обеспечена полная видимость и управление цепочками поставок для каждого участника в соответствии с его операциями [3]. Более детально технические подробности этого подхода изложены в [4].

Общими этапами этого перехода к PI, по мнению большинства исследователей, являются:

- взаимосвязанная логистика – концепция развития цепей поставок, подразумевающая общедоступность и унификацию распределительных центров, хабов, транспортных средств и тары;
- π-контейнеры – специальные унифицированные контейнеры для хранения, грузообработки, транспортировки материальных объектов в системе физического интернета.

В итоге должна заработать схема соединения физического и цифрового мира, создающая цифрового двойника физической транспортной единицы, реализующая этапы и возможности перехода к физическому интернету, тесно связанному с цифровым интернетом.

Вопросам физического интернета в настоящее время в мире посвящается множество работ, из числа которых исключительно в порядке иллюстрации многовекторности ведущихся исследований можно упомянуть [6–10].

С практической точки зрения, внедрение решений, основанных на физическом интернете, является важным этапом реализации транспортно-логистических проектов, в том числе в региональном масштабе.

Например, в ЕС эволюцию транспортно-логистических связей во многом обусловливают развитием международных транспортных коридоров (МТК) TEN-T [5], достаточно давно исходя из простых соображений – надо внедрять инновации (в том числе и цифровые) там, где они принесут максимальную пользу. Как будет показано далее, на определённом этапе предусматривается использование физического интернета. Уже сегодня в ЕС складывается практика реального построения МТК, в некоторых вопросах выходящая за пределы употребляемой в научном обиходе научной терминологии. Программа TEN-T действует довольно давно и предусматривает взаимодействие практически всех видов транспорта (мультимодальность). К ней нормативно относятся девять основных европейских коридоров [5], которые финансируются по разным схемам. Срок полной реализации

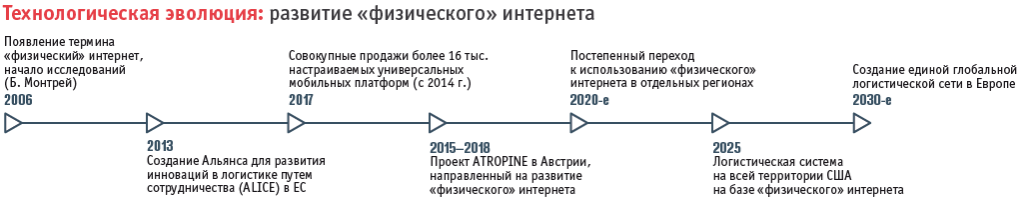


Рис. 1. Технологическая эволюция: развитие физического Интернета [13].

программы развития TEN-T установлен на 2030 год. Ещё более амбициозные задачи по развитию транспортной системы намечено решить к 2050 году [5].

С точки зрения общих инновационных транспортно-логистических решений ЕС по МТК можно выделить следующие этапы:

Первый этап. Мультимодальность (уже является нормативным требованием), которая означает для логистических цепей, в том числе, сопряжения инфраструктурной сети видов транспорта в определённых точках или узлах.

Второй этап. Синхромодальность (является текущей практикой реализации), которая означает синхронизацию расписаний нескольких видов транспорта для исключения потерь и улучшения экономических показателей.

Наиболее важным с точки зрения предмета нашего обзорного исследования является переход к *третьему этапу* – развёртыванию с 2030 года физического интернета. Один из его ключевых принципов – типизация.

Физический интернет построен на базе типизации как контейнеров для перевозки грузов, так и средств их обработки и доставки. Это позволяет фактически создать новую отрасль, в которой отправитель груза не указывает вид транспорта, а система работает по принципам цифрового интернета, маршрутизируя контейнеры (пакеты в цифровом интернете) и собирая их в нужном месте в нужное время. Реализация физического интернета даст весьма существенные с точки зрения экономики результаты.

Таким образом, используя материалы ЕС, можно построить общую идеологию развития МТК на базе имеющихся практик и решений, добиться существенной экономии средств при развитии коридора и обеспечить в необходимой мере стыковку с теми коридорами TEN-T, развитие которых уже вышло за пределы ЕС.

Необходимо отметить, что, например, в случае с МТК «Север–Юг» подразумевается использование естественных (природных) транспортных водных путей Волги и Каспийского моря, и аналогичные проекты по использованию естественных транспортных путей в коридорах уже развиваются в ЕС. Имеется цепь проектов, использующих Дунай и Чёрное море, в которых уже провозглашено использование физического интернета [11–12].

С этой точки зрения несомненный интерес представляет эволюция подходов к физическому интернету в России, вследствие чего *целью* статьи является обзор текущего состояния и перспектив развития этой логистической модели в России на основе *методов* контент-анализа спектра научных публикаций и других информационных источников, а также практических реализаций.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Физический интернет в России – история вопроса

До недавнего времени изучение физического интернета проходило в России не достаточно активно и ограничивалось совсем небольшим числом публикаций. Так, в [13] была приведена в целом справедливая временная шкала по технологическому развитию PI (рис. 1).

При этом была дана оценка уровня развития этой технологии в России, подчёркивающая наличие «белых пятен» и существенное отставание от мирового уровня (по состоянию на 2018 год) [13]. В 2019 году в работе [14] был приведён развёрнутый анализ связи современного транспорта и логистики с физическим интернетом, заслуживающий того, чтобы привести его достаточно подробно. В частности, было указано, что «современная глобальная логистика – это всё больше «физический интернет», сеть предоставляемых услуг,

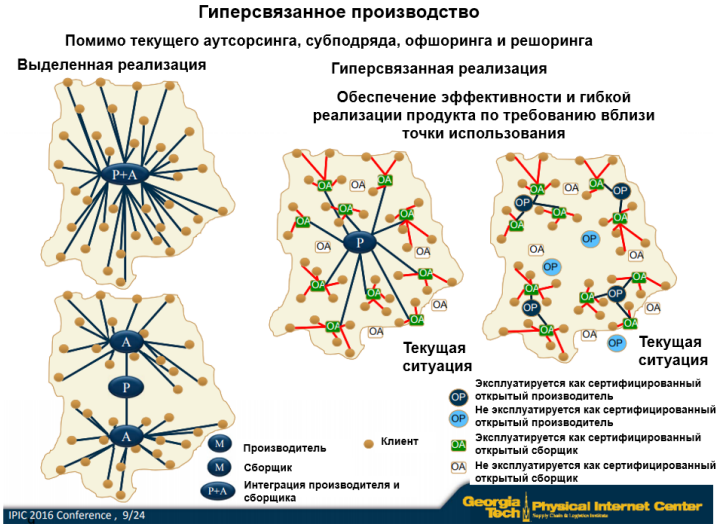


Рис. 2. Гиперсвязанное производство и физический интернет (IPIC 2016) [16].

которая поддерживает физическое перемещение товаров как внутри страны, так и за её пределами. Логистика – это целый комплекс, который включает в себя не только транспортировку, но и складирование, брокерские услуги, экспресс-доставку, терминалы. Международные игроки рынка логистических услуг предлагают широкий спектр диверсифицированных решений для торговли и производителей товаров, генерируя оборот, превосходящий 4,3 трлн долларов США. По показателям информационного развития Российской Федерации нам есть куда расти, ведь будущее в логистическом секторе – за информационными технологиями и интенсивным ростом пропускной способности инфраструктурных объектов... Согласно данным Всемирного банка, Россия занимает 75-е место в рейтинге стран по индексу логистической эффективности в 2018 году, улучшив свои показатели по сравнению с 2016 годом. ...Безусловно, есть ряд направлений в развитии инфраструктуры, в которых Россия в числе лидеров, – наличие уникального ледокольного флота, уникальной системы организации грузового движения по железной дороге, высокая пунктуальность междугороднего сообщения как по железной дороге, так и по воздуху. Однако следует отметить, что по уровню развития информационных технологий игрокам российского рынка есть куда расти, чтобы повысить национальный уровень конкурентоспособности» [14].

Физический интернет на Иннопром-2017

На международной промышленной выставке «Иннопром-2017» в Екатеринбурге произошли, казалось бы, очень важные для судьбы российского PI события. С докладом выступил автор концепции физического Интернета и всемирно признанный учёный в области транспорта и логистики Бенуа Монтрёй [7; 9; 10; 15]. В формате мероприятия был подписан ряд соглашений на эту тему. Ряд российских компаний представил информацию о практическом внедрении PI в свою деятельность.

Несколько слайдов из выступления Бенуа Монтрёя [16] в концентрированной форме отражают текущее состояние развивающейся теории PI. Гиперсвязанное производство и физический интернет – две темы, самое тесное взаимодействие которых между собой продемонстрировано на рис. 2. PI-контейнеры как дерево связанных ярусов показаны на рис. 3. Наконец, PI-контейнеры для транспорта перемещения и складирования можно увидеть на рис. 4.

Ассоциация цифровых контейнерных перевозок (DCSA)

Громкий публичный старт в Екатеринбурге не привёл к кардинальному изменению ситуации с развитием физического интернета в России. Причины этому, по нашему мнению, могут лежать в плоскости нечётко сформулированных политических и экономических задач, недостаточных



Рис. 3. PI-контейнеры, как дерево связанных ярусов [16].

компетенций в области современной стандартизации и отрицания необходимости прохождения логически обоснованных этапов развития транспорта и логистики, показанных выше. Как и в случае цифрового интернета при отсутствии стандартов магистральных линий связи и, собственно, самих этих линий, цифровой интернет невозможен. В сегменте логистики, связанном с контейнерными перевозками, физический интернет фактически уже существует. И именно в этом сегменте, в первую голову и происходят события, которые кардинально влияют на развитие мирового PI. Как и в случае цифрового интернета возможно существование локальных решений на его принципах, но это никак не будет тем явлением, которое мы называем мировой паутиной.

Традиционно данные в сфере логистики всегда были полностью разобраны, что кардинально ограничивало развитие цифровых технологий [3; 17–19]. Иными словами, компании хранят данные в любых удобных именно для них формах и местах, что приводит к фрагментации экосистемы, порождает явную неэффективность и затрудняет оцифровку операций. Одна из превалирующих тенденций в области логистических технологий в 2020 году, по нашему мнению, указывает на то, что указанный выше подход к хранению данных больше не будет устраивать компании, которые хотят идти в ногу с меняющимися условиями [3]. Например, в сфере контейнерных перевозок новые стандарты данных создаются благодаря появлению в 2019 году Ассоциации цифровых контейнерных перевозок (DCSA) [5]. Её миссия состоит в создании общих стандартов информационных технологий для оцифровки и функциональной совместимости, чтобы сделать логистический сектор более эффективным как для клиентов, так и для перевозчиков. Спустя всего несколько месяцев после начала работы организация представила свой первый проект, в котором подробно описывались предлагаемые новые отраслевые стандарты для процессов обработки данных, используемых при доставке контейнеров. Перечень принятых DCSA стандартов к настоящему времени достаточно обширен [3; 20].

Как ранее указывалось авторами [3], DCSA эффективна во всех областях, в которых оператору одному работать сложно. К этим сферам относятся защита от кибератак, отслеживание контейнеров, технологические процессы работы портов и многое другое. За короткий срок с момента учреждения DSCA смогла привлечь в свой состав девять из десяти ведущих судоходных компаний. По сути, это означает включение в сферу её деятельности до 70 % глобальной контейнерной ёмкости. Статус неправительственной организации позволил привлечь в рабочие группы более 80 экспертов, разрабатывающих IT-решения. Все разработанные решения размещены с открытым



Рис. 4. PI-контейнеры для перевозки, перемещения и складирования [16].

исходным кодом на сайте DCSA, что делает разработанные DCSA стандарты доступными для широкого круга заинтересованных сторон, позволяет обмениваться информацией, в том числе с ассоциациями, действующими в данной сфере, а также с клиентами их членов. Так как все судоходные компании имеют разные IT-системы, то фактически именно предложенная схема стандартизации, опирающаяся на единое мнение ключевых мировых экспертов, а не на административные решения, показала себя наиболее успешной и соответствующей реалиям цифровой экономики.

На подобных принципах сегодня строится стандартизация интернета (W3C), бизнес-процедур и инженерии (OMG), строительства и эксплуатации зданий и сооружений (buildingSMART), геоинформационных систем (OGC) и многих других направлений современной экономики. При этом из-за сформированной изначально общности подходов также очень быстро решаются вопросы совместимости и взаимного использования онтологических формализаций [3].

Что касается физического интернета, то представители DCSA, выступая на IPIC-2019 (ежегодной конференции по физическому интернету), предложили всем участникам этого рынка равноправное сотрудничество. Сам факт появления DCSA и её быстрого развития можно считать ключевым фактором, способствующим ускоренному созданию транспортно-логистических партнёрств, кластеров, совместному использованию транспортных коридоров и развитию городской логистики. Это обусловлено тем, что основная товарная масса в мире перемещается именно в контейнерах, и усилиями DCSA именно в этом ключевом сегменте начинает вырисовываться набор стандартов и правил [3].

DCSA определяет три физических интернет-элемента [3]:

1. π-контейнеры, которые определяются размерами по трём измерениям (от 0,12 м до 12 м);

2. π-узлы – места, включая виртуальные, где работают с π-контейнерами. Соответственно, здесь есть π-системы, π-склады, π-хабы и т.д.;

3. π-транспорт (π-перевозчики). Соответственно, здесь есть π-самолёты, π-суда, π-локомотивы, π-вагоны и т.д.

DCSA реализует пять ключевых целей [3], в числе которых:

1. разработка стандартов IT и бизнеса;

2. упрощение и гармонизация цепочек поставок;

3. представление вовне отрасли контейнерных перевозок;

4. обеспечение эффективных, безопасных и защищённых операций;

5. поддержка инноваций и прорывных технологий.

Активный выпуск нормирующих документов DCSA начался с сентября 2019 года с общих позиций по отрасли, описанных онтологически формализованным обра-

зом[1], а ко всем остальным документам прилагается отдельный документ – руководство по чтению[2]. Эти документы обеспечивают должное понимание процессов. Отраслевой план DCSA включает в себя процессы, связанные с перемещением контейнера/оборудования из одного места в другое; с отгрузкой/бронированием; процессы, которые считаются критическими для успешной деятельности по переводу в цифровую форму и стандартизации работы отрасли; наконец, процессы, которые не рассматриваются как коммерчески важные или дающие конкурентные преимущества.

Основные стандарты, разработанные DCSA [3], приводятся ниже.

• Стандарт интерфейса – для отслеживания[3] и контроля документации[4], создан для того, чтобы все члены и партнёры в отрасли контейнерных перевозок могли основывать свои интерфейсы на общем понимании данных и процессов для обеспечения согласованности, простоты и своевременности принятия решений, поддержания совместимости процессов контейнерных перевозок [3].

• Глоссарий терминов DCSA[5] способствует согласованию терминов между всеми заинтересованными сторонами DCSA в сфере контейнерных перевозок. Первая версия глоссария была опубликована на веб-сайте DCSA летом 2019 года в контексте упомянутого выше проекта DCSA [3].

• Руководства по чтению для информационной модели DCSA 1.0[6] и стандарта интерфейса DCSA[7] должны помочь правильно интерпретировать инициативы DCSA. Руководства дают представление о различных концепциях и методах, используемых при подготовке и составлении документов, и предлагают способы использования документов в качестве основы для будущей деятельности [3].

• Соглашение об именовании событий DCSA 1.0[8] и определении структуры событий 1.0[9] служит целям стандартизации систем мониторинга. Решения для отслеживания состояния перевозимых грузов стали широко распространённой услугой в индустрии контейнерных перевозок. Однако из-за отсутствия общепризнанной терминологии и способов работы каждый перевозчик в отдельности, а также и причастные к перевозкам третьи стороны разработали свои собственные предложения (системы), которые представляются на веб-сайтах перевозчиков. Чтобы достичь в отрасли согласованной позиции, DCSA разработала соглашение об именах, которое устанавливает стандарты именования, а также общее понимание в отношении процессов отслеживания событий, с которыми сталкиваются клиенты [3].

За счёт этих стандартов понимание всех событий одинаково интерпретируется во всей отрасли (рис. 5).

Поскольку каждая структура может использоваться для объединения большого количества различных событий, необходим набор правил, чтобы гарантировать, что никакие комбинации не создают нелогичных событий.

Особого внимания заслуживает информационная модель DCSA, которая была создана для предоставления целостного обзора информации, согласованной в рамках стандартов процессов, определённых в отраслевом проекте DCSA, и в соответствии с определениями, задокументированными в глоссарии терминов DCSA.

Путём стандартизации используемых терминов и документирования соответствующих данных информационная модель призвана обеспечить основу, которая может быть использована в текущей работе по стан-

---

[1] Industry Blueprint – Container Shipping 1.0 September 2019, Copyright 2019 Digital Container Shipping Association (DCSA).

[2] Industry Blueprint – Container Shipping 1.0 Reading guide September 2019, Copyright 2019 Digital Container Shipping Association (DCSA).

[3] DCSA Interface Standard for Track and Trace 1.0 27 January 2020, Copyright 2020 Digital Container Shipping Association (DCSA).

[4] DCSA Interface Standard for Track and Trace 1.0 Reading Guide 27 January 2020, Copyright 2020 Digital Container Shipping Association (DCSA).

[5] Glossary of terms 1.1 Industry Blueprint – Container shipping 1.0 January 2020.

[6] Information Model 1.0 Data and Interface Standards, Copyright 2020 Digital Container Shipping Association (DCSA).

[7] DCSA Information Model 1.0 Reading Guide 27 January 2020.

[8] Event naming convention and Structure 1.0 January 2020, Copyright 2020 Digital Container Shipping Association (DCSA).

[9] Event Structure Definitions 1.0 Customer-facing Track and Trace Version 1.0 27 January 2020, Copyright 2020 Digital Container Shipping Association (DCSA).



Рис. 5. Последовательность событий в стандарте DCSA (источник – DCSA).

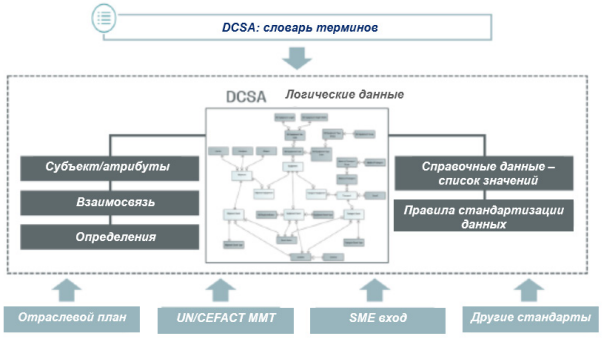


Рис. 6. Обзор содержимого информационной модели DCSA (источник – DCSA).

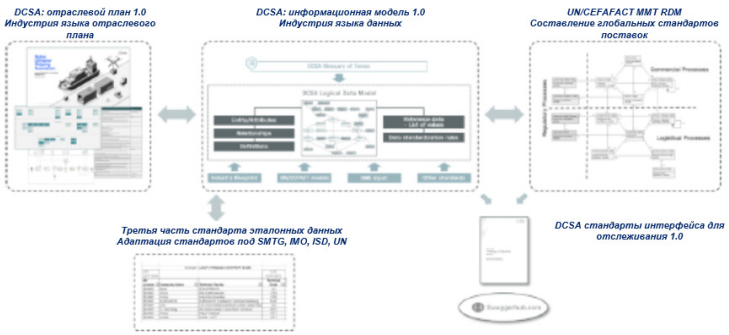


Рис. 7. Информационная модель DCSA в качестве переводчика (источник – DCSA).

дартизации интерфейса и для будущих инициатив. DCSA признаёт, что сегодня существует множество других стандартов, и стремится использовать существующие ресурсы там, где они соответствуют контексту индустрии контейнерных перевозок. Некоторые из этих существующих стандартов более широко приняты, чем другие. Например, модель эталонных данных мультимодального транспорта (MMT RDM) СЕФАКТ ООН. Предполагается, что информационная модель DCSA будет постоянно оцениваться на основе этих и других стандартов.

Информационная модель DCSA была разработана для поддержания общего понимания концепций, терминов и правил в отрасли судоходства. Принципы, лежащие в основе создания модели, заключались в том, чтобы учитывать текущие стандарты, используемые в отрасли, и повторно использовать эти стандарты там, где это уместно, или предлагать новые стандарты, если невозможно найти применимый стандарт. Обзор содержимого информационной модели DCSA приводится на рис. 6. Таким образом, информационная модель DCSA приобретает свойство выступать в качестве переводчика между разными системами в отрасли (рис. 7).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Физический интернет имеет огромное значение для реализации как потенциала развития России, так и своего богатого потенциала применительно к транспортной отрасли. Построить систему физического интернета в России возможно, только учитывая (принимая в разработку) существующие стандарты, соответствующие характеру цифровой экономики, и при безусловном участии государства. Роль государства должна проявиться в создании как правил развития транспортной инфраструктуры, которые будут соответствовать экономическим реалиям завтрашнего дня, так и таких же нормативных правил в отношении физического интернета. Нам представляется, что у нас есть все возможности для этого.

ЛИТЕРАТУРА

1. Palmer, A. The Physical Internet. [Электронный ресурс]: https://gbievents.com/blog/The-Physical-Internet. Доступ 15.01.2021.

2. Тушин Н. А., Тимухин К. М., Писарева Р. В. Физический интернет и математическое моделирование // Инновационный транспорт. – 2017. – Т. 3. – № 25. – С. 32–35. DOI: 10.20291/2311-164X-2017-3-32-35. Доступ 15.01.2021.

3. Куприяновский В. П., Климов А. А., Володин А. Б., Покусаев О. Н., Намиот Д. Е., Липунцов Ю. П., Лысогорский А. А. На пути к физическому интернету: промышленные и логистические кластеры, стандартизация цифрового контейнера и сроки внедрения // International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8. – № 4. – С. 74–88. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_42748929_33036630.pdf. Доступ 15.01.2021.

4. Куприяновский В. П., Климов А. А., Покусаев О. Н., Намиот Д. Е., Катцын Д. В. На пути к Физическому Интернету: индустрия, логистика и электронная коммерция 4.0. Европейский вариант // International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – Т. 7. – № 5. – С. 89–104. [Электронный ресурс]: https://cyberleninka.ru/article/n/na-puti-k-fizicheskomu-internetu-industriya-logistika-i-elektronnaya-kommertsiya-4-0-evropeyskiy-variant/pdf. Доступ 14.11.2020.

5. Климов А. А, Куприяновский В. П., Куренков П. В., Мадяр О. Н. Цифровые транспортные коридоры для перевозок грузов и пассажиров // Вестник транспорта. – 2017. – № 10. – С. 26–30; № 11 – С. 15–28. [Электронный ресурс]: https://elibrary.ru/item.asp?id=30684678. Доступ 14.11.2020.

6. Treiblmaier, H., Mirkovski, K., Lowry, P. B., Zacharia, Z. G. The physical internet as a new supply chain paradigm: a systematic literature review and a comprehensive framework. The International Journal of Logistics Management, 2020, Vol. 31, No. 2, pp. 239–287. DOI: https://doi.org/10.1108/IJLM-11-2018-0284. Доступ 14.11.2020.

7. Pan, S., Ballot, E., Huang, G. Q., Montreuil, B. Physical Internet and interconnected logistics services: research and applications. International Journal of Production Research, 2017, Vol. 55, Iss. 9, pp. 2603–2609. DOI: https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1302620. Доступ 14.11.2020.

8. Sternberg, H. S., Norrman, A. The Physical Internet – review, analysis and future research agenda. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 2017, Vol. 47(5). DOI: 10.1108/IJPDLM-12-2016-0353. Доступ 14.11.2020.

9. Crainicac, T. G., Montreuil, B. Physical Internet Enabled Hyperconnected City Logistics. Transportation Research Procedia, 2016, Vol. 12, pp. 383-398. DOI: https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.074. Доступ 14.11.2020.

10. Montreuil, B., Rougès, J.-F., Cimon, Y., Poulin, D. The physical internet and business model innovation. Technology Innovation Management Review, 2012, Vol. 2, Iss. 6, pp. 32–37. DOI:10.22215/timreview/566. Доступ 14.11.2020.

11. DAPhNE D.5.4.4 Danube Ports and the Physical Internet, DAPhNE 2018. [Электронный ресурс]: http://www.interreg-danube.eu/uploads/media/approved_project_public/0001/27/d88b902e8212830e5053180efa00e75ce3be3075.pdf. Доступ 14.11.2020.

12. DAPhNE Output 5.1 Port investments guidelines & New markets studies DAPhNE 2018. [Электронный ресурс]: http://www.interreg-danube.eu/uploads/media/approved_project_output/0001/33/b5ac2ff08ca128ca96ada6ab2f4263825dfb5d57.pdf. Доступ 14.11.2020.

13. Глобальные технологические тренды трендлеттер # 1 Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2018. [Электронный ресурс]: https://issek.hse.ru/trendletter/. Доступ 14.11.2020.

14. Цифровизация контейнерных перевозок. Влияние современных технологий на логистику Коммуникационная Группа «АВТОР», 2019. [Электронный ресурс]: https://transweek.ru/18/Digitization_of_container_shipments.pdf. Доступ 14.11.2020.

15. Montreuil, B. Towards a physical internet: Meeting the global logistics sustainability grand challenge. Logistics Research, 2011, Vol. 3, Iss. 2–3, pp. 71–87. DOI: https://doi.org/10.1007/s12159-011-0045-x. Доступ 14.11.2020.

16. «Физический Интернет» как новый способ организации грузоперевозок. [Электронный ресурс]: https://glonassgps.com/fiziceskij-internet-kak-novyj-sposob-organizacii-gruzoperevozok. Доступ 14.11.2020.

17. Соколов И. А. Куприяновский В. П., Намиот Д. Е. и др. Государство, инновации, наука и таланты в измерении цифровой экономики (на примере Великобритании) // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – № 6. – С. 33–48. [Электронный ресурс]: https://cyberleninka.ru/article/n/gosudarstvo-innovatsii-nauka-i-talanty-v-izmerenii-tsifrovoy-ekonomiki-na-primere-velikobritanii/pdf. Доступ 14.11.2020.

18. Куприяновский В. П., Намиот Д. Е., Синягов С. А., Добрынин А. П. О работах по цифровой экономике // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2016. – Т. 12. – № 1. – С. 243–249. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=34340381. Доступ 14.11.2020.

19. Montreuil, B., Meller, R. D., Ballot, E. Towards a Physical Internet: the Impact on Logistics Facilities and Material Handling Systems Design and Innovation, 2010. [Электронный ресурс]: https://pdfs.semanticscholar.org/a907/08526f1c787bdafbcebf8492583b7ef668d4.pdf. Доступ 14.11.2020.

20. Becha, H. [*et al*]. Global data exchange standards: The basis for future smart container digital services. In: Maritime Informatics. Springer, Cham, 2021, pp. 293–307. First Online: 15 November 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-50892-0_18. Доступ 15.01.2021.

DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-1-92-109

Physical Internet and Logistics Transportation Systems of the Digital Economy





Vasily P. KUPRIYANOVSKY **Dmitry E. NAMIOT** **Oleg N. POKUSAEV**

Kupriyanovsky, Vasily P., *Russian University of Transport, Moscow, Russia.*
Namiot, Dmitry E., *Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia.*
Pokusaev, Oleg N., *Russian University of Transport, Moscow, Russia*.*

ABSTRACT

Logistics transportation systems are considered regarding development of the Physical Internet. The Physical Internet is widely defined as an open global logistics system founded on physical, digital, and operational interconnectivity, through encapsulation, interfaces, and protocols, similar to the Digital Internet [1; 2]. It is built based on standardisation of both containers for transportation of goods and the equipment intended for their handling and supply. This allows creating a practically new industry since the shipper does not specify the mode of transport, and the system works on the principles of the Digital Internet, routing containers (analogous to packages of the Digital Internet) and collecting them in the right place at the right time. The concept of the Physical Internet is aimed at implementation of full interconnectedness, in terms of data, information, physical and financial flows, of several networks of freight transportation logistics services, as well as at their readiness to be freely used as a single large logistics network. The seamless physical, digital, and financial interconnection of logistics networks will include transportation, storage, and physical handling of cargo units (containers, demountable bodies, pallets, etc) [3]. In other words, these are physical objects, and that justifies the designation of the entire system as of the Physical Internet. Naturally, such a system inevitably raises the issue of standardising such physical objects (by analogy with standardising Digital Internet packages). Hence, the term of so-called ϖ-containers appears associated with special unified containers for storage, handling, transportation of material objects within the Physical Internet system. Now, the Physical Internet is not a merely theoretical concept. Its implementation is being carried out in many countries. The first Russian companies have already started promoting this concept as well. The objective of the article is to review the current state of this logistics model in Russia and the world based on the analysis of the literature and practical implementations.

Keywords: *logistics, transportation logistics systems, Physical Internet, containers, cargo transportation, routing.*

*Information about the authors:
Kupriyanovsky, Vasily P. – Deputy Director of the Scientific and Educational Centre of Digital High-Speed Transportation Systems of Russian Open Academy of Transport of Russian University of Transport, Moscow, Russia, ✉ v.kupriyanovsky@rut.digital.
Namiot, Dmitry E. – Ph.D. (Physics and Mathematics), Senior Researcher of the Laboratory of Open Information Technologies of the Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia (CMC MSU), dnamiot@gmail.com.
Pokusaev, Oleg N. – Ph.D. (Economics), Associate Professor of the Department of High-Speed Transportation Systems, Director of Russian Open Transport Academy of Russian University of Transport, Moscow, Russia, o.pokusaev@rut.digital.

Article received 23.03.2020, revised 15.01.2021, accepted 26.02.2021.

For the original Russian text of the article please see p. 92.

INTRODUCTION

The role of transport and logistics in the economy is growing extremely rapidly, and this trend has only accelerated with the transition to the digital economy that gives rise to creation of new paradigms in the transportation logistics sector, which are based largely on various trends regarding the Internet expansion and new opportunities. The Internet growth has given birth to the terms like inflight, maritime, on-board train Internet.

However, the processes of freight transportation logistics both in the world and particular regions, e.g., the EU continues [4], become objectively more complicated. These tendencies have not passed Russia, which is an important part of the global transportation logistics environment.

Following the growing need in transportation and logistics, the solution seems associated with a gradual approach to the Physical Internet (PI/π) – an open global logistics system founded on physical, digital, and operational interconnectivity, through encapsulation, interfaces, and protocols, by analogy with the Digital Internet [1; 2].

As previously indicated by researchers and particularly by the article's authors, the PI concept aims at implementing full interconnectedness (of data, information, physical and financial flows) of several (private) cargo transportation and logistics networks and at their readiness to be seamlessly used as a single large logistics network [3]. The seamless physical, digital, and financial interconnection of logistics networks will include transportation, storage, and physical handling of cargo units such as containers, demountable bodies, pallets, etc. [3]. The barriers to becoming part of a network providing access to private services, resources available in the PI network, must be very low. In the long term, various network operators and service providers are likely to offer plug and play connectivity to supply chain stakeholders. Full visibility and supply chain management will be ensured for each player in accordance with his operations [3]. More technical details of this approach are descried in [4].

The general stages of this transition to PI, according to most researchers, are as follow:

• Interconnected logistics: a concept for development of supply chains, implying general availability and unification of distribution centres, hubs, vehicles and packaging.

• π-containers: special unified containers for storage, handling, transportation of material objects within the Physical Internet system.

As a result, a scheme for connecting the physical and digital world should be implemented, creating a digital twin of a physical transport unit, thus implementing the stages and opportunities of transition to the Physical Internet, closely related to the Digital Internet.

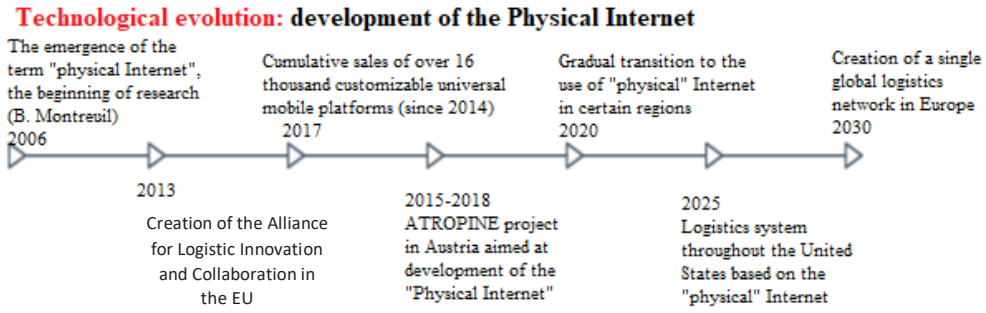
A lot of research is currently dedicated to the Physical Internet issues in different countries of the world. Purely to illustrate the diversity of the research it is opportune to mention [6–10].

From a practical perspective, the application of solutions based on Physical Internet is an important phase of implementation of transportation logistics projects, particularly at regional level.

For example, the evolution of the EU transportation logistics connections is largely related to the development of TEN-T international transport corridors (ITC) [5], as it has for a long time been based on a simple consideration that it is necessary to adopt innovations (including digital ones) where they will bring maximum benefit. As it will be further shown, a certain stage provides for the application of Physical Internet. Even now practices of construction of the ITC in the EU are beyond the scope of the terminology which is currently in scientific use. The TEN-T development program has been operating for a long time and provides for interaction of almost all modes of transport (multimodality). Nine main European corridors refer to it according to regulations [5]; they are funded by different models. The full implementation of these corridors is set for 2030. Even more ambitious goals for development of the transport system should be achieved by 2050 [5].

From the point of view of the general EU innovative transportation logistics solutions regarding the ITC, the following stages can be distinguished:

First stage. Multimodality (that has already been shaped as a requirement in conformity with regulations) which means for supply chains, particularly, the connections of infrastructure network of transport modes at certain points or nodes.



Pic. 1. Technological evolution: development of the Physical Internet [13].

Second stage. Synchromodality (which is associated with on-going implementation) which means synchronising the schedules of several modes of transport to avoid losses and improve economic performance.

Transition to the *third stage* is the most important from the perspective of our review study since it regards deployment of Physical Internet by 2030 and its core approaches comprise standardisation.

Physical Internet is based on standardisation of both containers for transportation of goods and of the equipment intended for their handling and supply. This allows creating a practically new industry since the shipper does not specify the mode of transport, and the system works on the principles of the Digital Internet, routing containers (analogous to packages of the Digital Internet) and collecting them in the right place at the right time. Implementation of the Physical Internet will result in extremely significant economic outcomes.

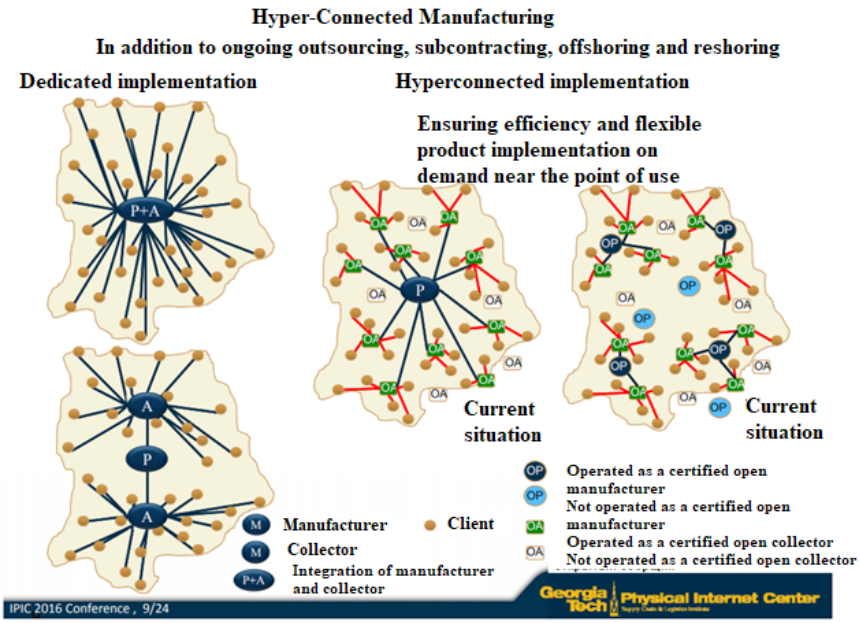
Thus, using the EU materials, it is possible to build a common ideology for development of the ITC based on existing practices and solutions, to achieve significant saving in further development of the corridor and to ensure, to the necessary extent, connection with the TEN-T corridors, the development of which has already gone beyond the EU. It should be noted that, for example, the North-South ITC implies the use of natural transportation waterways of Volga and Caspian Sea, and similar projects on the use of natural transportation routes in the corridors are already being developed in the EU. There is a chain of projects using Danube and Black Sea, in which the use of the Physical Internet has already been declared [11–12].

RESULTS

Physical Internet in Russia: history of the issue

Until recently the study of the Physical Internet in Russia has not been sufficiently active and so thus has been limited to a very small number of publications. Thus, in [13], a generally fair time scale for the technological development of PI was suggested (Pic. 1).

An assessment was also made of the level of development of this technology in Russia, emphasising the presence of «white spots» and a significant lag behind the world level (as for 2018) [13]. In 2019, the work [14] presented a detailed analysis of the connection of modern transportation logistics with the Physical Internet, that merits to be quoted extensively. It was noted that «Modern global logistics is more and more the Physical Internet, a network of services provided that supports physical movement of goods both within the country and abroad. Logistics is a whole complex that includes not only transportation, but also warehousing, brokerage services, express delivery, terminals. International players in the logistics market offer a wide range of diversified solutions for trade and goods manufacturers, generating turnover exceeding 4,3 trillion USD. According to the indicators of information development of the Russian Federation, we have room to grow, because the future in the logistics sector is linked to information technologies and the intensive growth of the transit capacity of infrastructure facilities... According to the World Bank, Russia ranked 75th in the ranking of countries in the logistics efficiency index in 2018, having improved its performance compared to 2016. ...Of course, there are several areas in development of infrastructure where Russia is among the leaders: the presence of

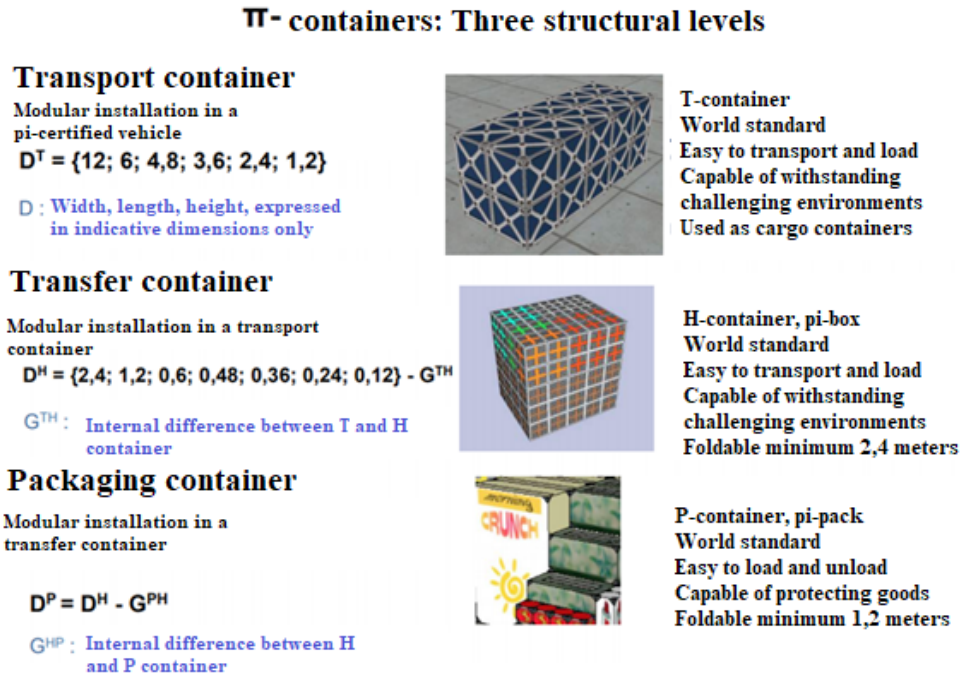


Pic. 2. Hyper-connected manufacturing and Physical Internet (IPIC 2016) [16].

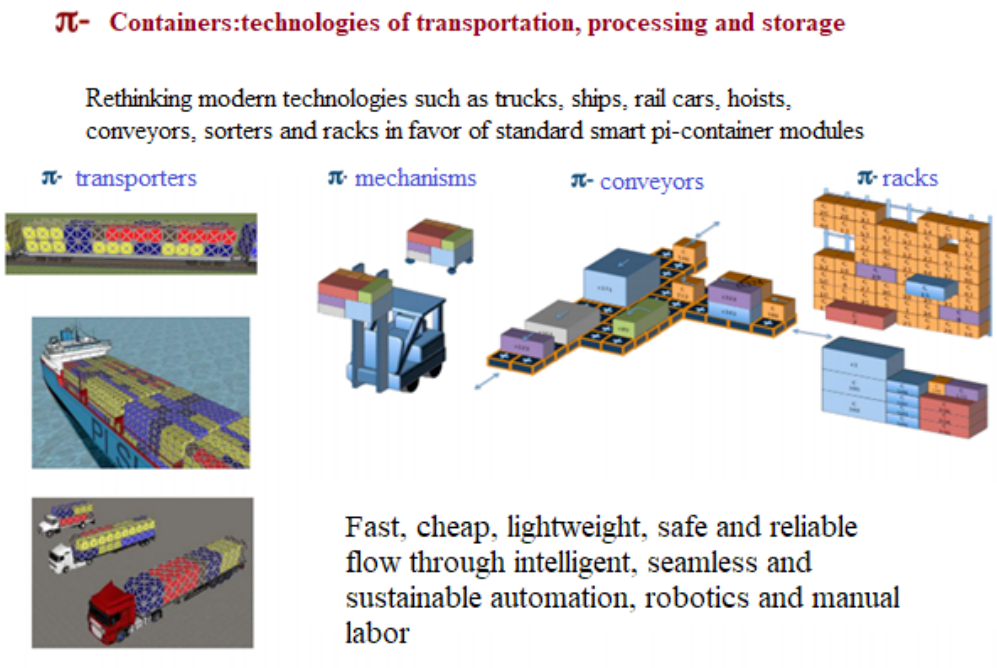
a unique icebreaker fleet, a unique system for organising cargo traffic by rail, high punctuality of intercity communication both by rail and by air. However, it should be noted that in terms of the development of information technologies, the actors in the Russian market have room to grow in order to increase the national competitiveness» [14].

Physical Internet at Innoprom-2017

At Innoprom-2017 international industrial exposition in Yekaterinburg, very important



Pic. 3. PI containers as a tree of linked tiers [16].



Pic. 4. PI containers for transport of movement and storage [16].

events seemed to happen regarding the fate of the Russian PI. It was attended by Benoit Montreuil, the author of the concept of the Physical Internet and world-renowned scientist in the field of transportation and logistics [7; 9; 10; 15], who made a presentation. Several agreements on this topic were also signed there. Some Russian companies presented the information on PI implementation.

Slides presented by Benoit Montreuil [16] reflected in concentrated form the current state of the evolving PI theory. Pic. 2 illustrates hyper-connected manufacturing and the Physical Internet as two related topics. Pic. 3 shows PI containers like a tree of linked tiers. Finally, Pic. 4 shows PI containers for transfer and storage transportation.

The Digital Container Shipping Association (DCSA)

However, the loud public launch in Yekaterinburg has not resulted in cardinal change in the situation with the Physical Internet in Russia. The reason for this seems to be associated with the lack of clearly defined political and economic tasks, with a insufficient competences in the field of modern standardisation and with the denial of the need to go through the logical stages of development of transportation logistics, shown above. As in the case of the Digital Internet, if there are no standards for backbone communication lines or lines themselves, then the Digital Internet is impossible. The Physical Internet in the segment of logistics regarding container transportation already exists. And exactly that segment witnesses the events that radically affect the development of world PI. As in the case of Digital Internet, local solutions based on its principles are possible, but this will no longer be the phenomenon that we call the world wide web.

Traditionally, data in the field of logistics have always been completely disassembled, which drastically limited development of digital technologies [3; 17–19]. In other words, companies store data wherever and whenever they find it comfortable for them, and this results in a fragmented ecosystem, creates huge inefficiencies, and makes it difficult to digitise operations. One of the prevailing logistics technology trends we have identified in 2020 indicates that data in warehouses will no longer be suitable for companies looking to keep up with changing times [3]. For example, new data standards are finally being created in the container shipping industry, due to the

emergence of the Digital Container Shipping Association (DCSA) in 2019 [5]. DCSA mission is to create common information technology standards for digitisation and interoperability to make the supply sector more efficient for both customers and shipping operators. Just months after its launch, the organisation released its first industry draft detailing new industry standards for data processing intended for container shipping. The list of already adopted DCSA standards is quite long [3; 20].

As it was previously noted by the authors [3], DCSA is efficient in all the areas which are difficult for a single operator to operate. Those fields comprise cybersecurity, container tracking, port processes, hinterland connections, and more. During a short period after its establishment DCSA had managed to convince nine of the top ten shipping companies to become its members. This means that DCSA has covered 70 % of the global container capacity. Its NGO status has allowed to attract over 80 experts to join working groups developing IT solutions. All developed solutions are available as open source software on DCSA website making them available for a wide range of interested parties, allowing data exchange, particularly with all relevant associations in the field as well as with their members' clients. Since all shipping companies have different IT systems, it is the proposed standardisation scheme, based on the common opinion of key world experts, and not of officials, that is most successful today and corresponds to the realities of the digital economy.

This is how standardisation of the Internet (W3C), of business procedures and engineering (OMG), of building, maintenance and operation of buildings and structures (building SMART), of geoinformation systems (OGC) and many other areas of the modern economy are being built today. At the same time, thanks to the initial common approach, issues of compatibility and mutual use of ontological formalisations are also very quickly resolved [3].

Regarding the Physical Internet, DCSA representatives, speaking at IPIC-2019 (the annual conference on the Physical Internet), offered equal cooperation to all participants in this market. We consider the fact of the emergence of DCSA and its very rapid development as key factors for rapid creation of transportation logistics partnerships, clusters, joint use of transport corridors and development of urban logistics, since the bulk of the world's commodity mass moves precisely in containers, and precisely that sector witnesses through the efforts of DCSA that a set of standards and rules is going to emerge [3].

DCSA defines three Physical Internet elements [3]:

1. π-containers, which are determined by dimensions in three dimensions (from 0,12 m to 12 m).

2. π-nodes, places, and sites, including virtual ones, where π-containers are operated. Accordingly, there are π-systems, π-warehouses, π-hubs, etc.

3. π-transport (π-carriers). Accordingly, there are π-planes, π-ships, π-locomotives, π-cars, etc.

DCSA implements five key goals [3] comprising:

1. Development of IT and business standards.

2. Simplification and harmonisation of supply chains.

3. Introducing the container shipping industry to third parties.

4. Ensuring efficient, safe, and secure operations.

5. Support for innovation and disruptive technologies.

The active release of DCSA regulating documents started in September 2019 with general industry's positions described in an ontologically formalised way[1], while a separate document, a reading guide[2], is attached to all other documents. These documents provide a due understanding of the processes as they are. The DCSA industry plan includes processes associated with moving a container/equipment from one location to another, processes associated with shipping/booking, processes that are considered critical to the industry's digitisation and standardisation efforts, and finally, processes that are not addressed as commercially sensitive or competitive advantageous.

---

[1] Industry Blueprint – Container Shipping 1.0 September 2019, Copyright 2019 Digital Container Shipping Association (DCSA).

[2] Industry Blueprint – Container Shipping 1.0 Reading guide September 2019, Copyright 2019 Digital Container Shipping Association (DCSA).



Pic. 5. The sequence of events in the DCSA standard (compiled from DCSA sources).

Main issued DCSA standards [3] are listed below.

• **An interface standard** for document tracking[3] and tracing[4] is created so that all members and partners in the container shipping industry can base their interfaces on a common understanding of industry data and processes to ensure consistency, simplicity and timeliness of tracking and control solutions across the industry, maintaining compatibility in container shipping [3].

• **DCSA Glossary of Terms**[5] promotes harmonisation of terms among all DCSA stakeholders in the container shipping industry. The first version of the glossary was published on the DCSA website in the summer of 2019 in the context of the DCSA industry project [3].

• **Reading guides** for DCSA 1.0 Information Model[6] and the DCSA Interface Standard[7] should help establish context and interpret DCSA initiatives. The guides provide insight into the various concepts and techniques used in document developing and wording and suggest ways to use documents as a basis for future implementations [3].

• **The DCSA 1.0 event naming convention**[8] and 1.0 event structure definition[9] serve the purpose of standardising monitoring systems. Cargo tracking solutions have become a widespread service in the container shipping industry. However, due to shifting terminology and ways of working, each carrier and third parties have developed their own offerings (systems) that are presented on the carriers' websites. To align this with the industry, DCSA has developed a naming convention that sets naming standards as well as an understanding of the tracking of events that customers encounter [3].

Understanding all events is interpreted in the same way across the industry through these standards (Pic. 5).

Since each structure can be used to combine many different events, a set of rules is needed to ensure that no combination creates illogical events.

Of note is the DCSA Information Model, which was created to provide a holistic view of the information that has been agreed within the process standards defined in the DCSA Industry Draft and in accordance with the definitions documented in the DCSA Glossary of Terms.

By standardising the terms used and documenting the relevant data, the information model is intended to provide a framework that

[3] DCSA Interface Standard for Track and Trace 1.0 27 January 2020, Copyright 2020 Digital Container Shipping Association (DCSA).

[4] DCSA Interface Standard for Track and Trace 1.0 Reading Guide 27 January 2020, Copyright 2020 Digital Container Shipping Association (DCSA).

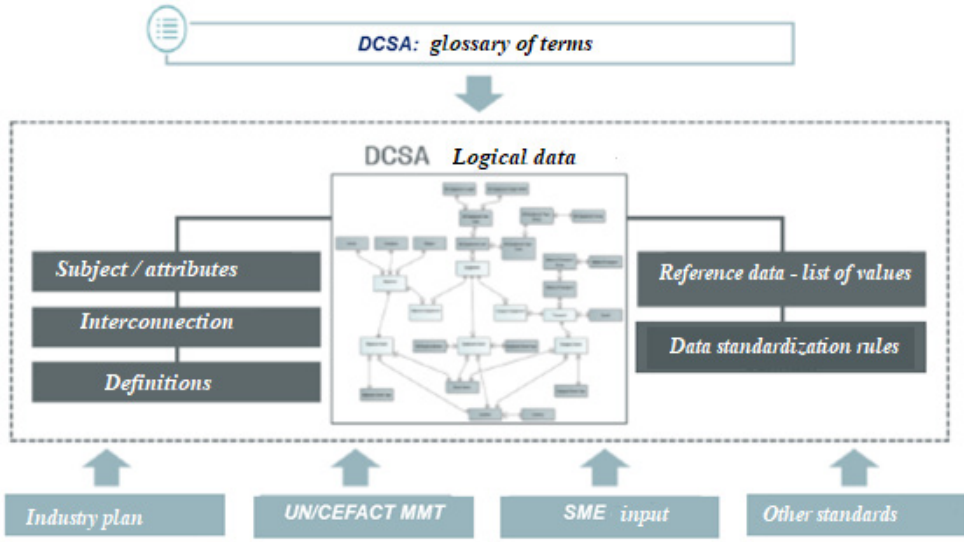
[5] Glossary of terms 1.1 Industry Blueprint – Container shipping 1.0 January 2020.

[6] Information Model 1.0 Data and Interface Standards, Copyright 2020 Digital Container Shipping Association (DCSA).

[7] DCSA Information Model 1.0 Reading Guide 27 January 2020.

[8] Event naming convention and Structure 1.0 January 2020, Copyright 2020 Digital Container Shipping Association (DCSA).

[9] Event Structure Definitions 1.0 Customer-facing Track and Trace Version 1.0 27 January 2020, Copyright 2020 Digital Container Shipping Association (DCSA).



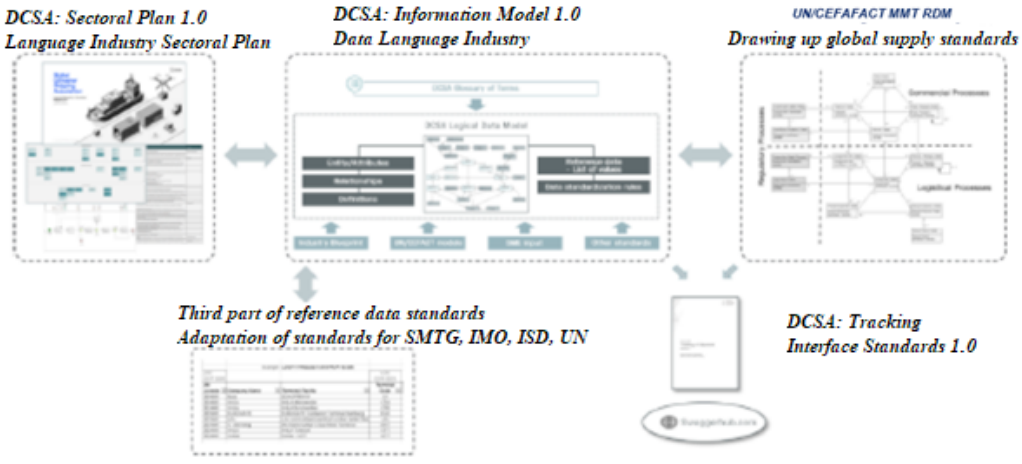
Pic. 6. Overview of the content of the DCSA information model (compiled from DCSA sources).

can be used in current interface standardisation work and for future initiatives. DCSA recognises that many other standards exist today and strives to reuse these resources where they fit the context of the container shipping industry. Some of these existing standards are more widely accepted than others, e.g., the UN/CEFACT Multimodal Transport Reference Data Model (MMT RDM). It is intended to continually evaluate the DCSA Information Model against these and other standards.

The DCSA Information Model was developed to support a common understanding of concepts, terms, and regulations in the shipping industry. The principles behind creation of the model were to consider the current standards used in the industry and reuse those standards where appropriate, or to propose new standards where an applicable standard cannot be found. An overview of the contents of the DCSA information model is shown in Pic. 6. Thus, the DCSA information model acquires the ability to act as a translator between different systems in the industry (Pic. 7).

CONCLUSIONS

Both for implementation of Russia's own development capacity, and for implementation



Pic. 7. DCSA information model as a translator (compiled from DCSA sources).

of its richest natural potential regarding transport sector, the Physical Internet is of great importance. It is possible to build it in Russia only considering (taking it for development) the existing standards, relevant for the nature of the digital economy, with the unconditional participation of the state. The role of the latter should be expressed in creation of both the rules for development of transport infrastructure, which will correspond to the economic realities of tomorrow, and the same regulatory rules. It seems to us that we have all the possibilities for this.

REFERENCES

1. Palmer, A. The Physical Internet [Electronic resource]: https://gbievents.com/blog/The-Physical-Internet. Last accessed 15.01.2021.

2. Tushin, N. A., Timukhin, K. M., Pisareva, R. V. Physical Internet and mathematical modelling [*Fizicheskiy Internet I matematicheskoe modelirovanit*]. *Innovatsionny transport*, 2017, Vol. 3, Iss. 25, pp. 32–35. DOI: 10.20291/2311-164X-2017-3-32-35. Last accessed 15.01.2021.

3. Kupriyanovsky, V. P., Klimov, A. A., Volodin, A. B., Pokusaev, O. N., Namiot, D. E., Lipuntsov, Yu. P., Lysogorsky, A. A. Towards a Physical Internet: industrial and logistics clusters, standardization of the digital container and implementation timeline. *International Journal of Open Information Technologies*, 2020, Vol. 8, Iss. 4, pp. 74–88. [Electronic resource]: https://www.elibrary.ru/ download/elibrary_42748929_33036630.pdf. Last accessed 15.01.2021.

4. Kupriyanovsky, V. P., Klimov, A. A., Pokusaev, O. N., Namiot, D. E., Kattsyn, D. V. Towards the Physical Internet: industry, logistics and e-commerce 4.0. European version [*Na puti k Fizicheskomu Internetu: industriya, logistika i elektronnaya kommertsiya 4.0. Evropeiskiy variant*]. *International Journal of Open Information Technologies*, 2019, Vol. 7, Iss. 5, pp. 89–104. [Electronic resource]: https://cyberleninka.ru/article/n/na-puti-k-fizicheskomu-internetu-industriya-logistika-i-elektronnaya-kommertsiya-4-0-evropeyskiy-variant/pdf. Last accessed 14.11.2020.

5. Klimov, A. A, Kupriyanovsky, V. P., Kurenkov, P. V, Madyar, O. N. Digital transport corridors for transportation of goods and passengers [*Tisfrovie transportnie koridory dlya perevozok gruzov i passazhirov*]. *Vestnik transporta*, 2017, Iss. 10, pp. 26–30. [Electronic resource]: https://elibrary.ru/item.asp?id=30684678. Last accessed 14.11.2020.

6. Treiblmaier, H., Mirkovski, K., Lowry, P. B., Zacharia, Z. G. The physical internet as a new supply chain paradigm: a systematic literature review and a comprehensive framework. *The International Journal of Logistics Management*, 2020, Vol. 31, Iss. 2, pp. 239–287. https://doi.org/10.1108/IJLM-11-2018-0284. Last accessed 14.11.2020.

7. Pan, S., Ballot, E., Huang, G. Q., Montreuil, B. Physical Internet and interconnected logistics services: research and applications. *International Journal of Production Research*, 2017, Vol. 55, Iss. 9, pp. 2603–2609. DOI: https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1302620. Last accessed 14.11.2020.

8. Sternberg, H. S., Norrman, A. The Physical Internet – review, analysis and future research agenda. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 2017, Vol. 47(5). DOI:10.1108/IJPDLM-12-2016-0353. Last accessed 14.11.2020.

9. Crainicac, T. G., Montreuil, B. Physical Internet Enabled Hyperconnected City Logistics. *Transportation Research Procedia*, 2016, Vol. 12, pp. 383–398. DOI: https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.074. Last accessed 14.11.2020.

10. Montreuil, B., Rougès, J.-F., Cimon, Y., Poulin, D. The physical internet and business model innovation. *Technology Innovation Management Review*, 2012, Vol. 2, Iss. 6, pp. 32–37. DOI:10.22215/timreview/566. Last accessed 14.11.2020.

11. DAPhNE D.5.4.4 Danube Ports and the Physical Internet, DAPhNE 2018. [Electronic resource]: http://www.interreg-danube.eu/uploads/media/approved_project_public/0001/27/d88b902e8212830e5053180efa00e75ce3be3075.pdf. Last accessed 14.11.2020.

12. DAPhNE Output 5.1 Port investments guidelines & New markets studies DAPhNE 2018. [Electronic resource]: http://www.interreg-danube.eu/uploads/media/approved_project_output/0001/33/b5ac2ff08ca128ca96ada6ab2f4263825dfb5d57.pdf. Last accessed 14.11.2020.

13. Global technological trends trendletter #1 [Globalnie tekhnologicheskie trendy trendletter #1]. *National Research University Higher School of Economics*, 2018 [Electronic resource]: https://issek.hse.ru/trendletter/. Last accessed 14.11.2020.

14. Digitalization of container transportation. Influence of modern technologies on logistics [*Tsifrovizatsiya konteinernykh perevozok. Vliyanie sovremennykh tekhnologii na logistiku*] Avtor Communication Group, 2019. [Electronic resource]: https://transweek.ru/18/Digitization_of_container_shipments.pdf. Last accessed 14.11.2020.

15. Montreuil, B., Rougès, J.-F., Cimon, Y., Poulin, D. The physical internet and business model innovation. *Technology Innovation Management Review*, Vol. 2, Iss. 6, pp. 32–37. DOI:10.22215/timreview/566. Last accessed 14.11.2020.

16. «Physical Internet» as a new way of organizing cargo transportation. [«*Fizicheskiy Internet» kak noviy sposob organizatsii gruzoperevozok*]. [Electronic resource]: https://glonassgps.com/fiziceskij-internet-kak-novyj-sposob-organizacii-gruzoperevozok. Last accessed 14.11.2020.

17. Sokolov, I. A. Kupriyanovsky, V. P., Namiot, D. E. [*et al*]. State, innovation, science and talents in measuring the digital economy (on the example of Great Britain) [*Gosudarstvo, innovatsii, nauka i talanty v izmerenii tsifrovoi ekonomiki (na primere Velikobritanii)*]. *International Journal of Open Information Technologies*, 2017, Iss. 6, pp. 33–48. [Electronic resource]: https://cyberleninka.ru/article/n/gosudarstvo-innovatsii-nauka-i-talanty-v-izmerenii-tsifrovoy-ekonomiki-na-primere-velikobritanii/pdf. Last accessed 14.11.2020.

18. Kupriyanovsky, V. P., Namiot, D. E., Sinyagov, S. A., Dobrynin, A. P. About works on digital economy [*O rabotakh po tsifrovoi ekonomike*]. *Modern information technologies and IT education*, 2016, Vol. 12, Iss. 1, pp. 243–249. [Electronic resource]: https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=34340381. Last accessed 14.11.2020.

19. Montreuil, B., Meller, R. D., Ballot, E. Towards a Physical Internet: the Impact on Logistics Facilities and Material Handling Systems Design and Innovation, 2010. [Electronic resource]: https://pdfs.semanticscholar.org/a907/08526f1c787bdafbcebf8492583b7ef668d4.pdf. Last accessed 14.11.2020.

20. Becha, H. [*et al*]. Global data exchange standards: The basis for future smart container digital services. In: Maritime Informatics. Springer, Cham, 2021, pp. 293–307. First Online: 15 November 2020. DOI:10.1007/978-3-030-50892-0_18. Last accessed 15.01.2021. ●

УДК 658.3
DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-1-110-134

Потоки в цепях создания ценностей





Тяпухин Алексей Петрович *– Оренбургский филиал Института экономики Уральского отделения Российской академии наук, Оренбург, Россия.*
Коловертнова Мария Юрьевна *– Оренбургский филиал Института экономики Уральского отделения Российской академии наук, Оренбург, Россия*.*

Алексей ТЯПУХИН **Мария КОЛОВЕРТНОВА**

Достижение целей предприятий и их выживание в рыночных условиях достигаются на основе внедрения концепций управления цепями поставок, ценностей и требований, ориентированных на управление потоками ресурсов для создания и доставки ценностей их конечным потребителям.

Предметом исследования являются отношения между потребителями и поставщиками как звеньями цепей поставок, формирующими и преобразующими потоки ценностей, требований, продуктов и/или услуг, а также новинок в конкурентной среде.

Целями исследования являются уточнение и дополнение теории и методологии управления потоками ценностей, требований, продуктов и/или услуг, а также новинок при внедрении и реализации концепций управления линейно упорядоченными предприятиями или цепями.

Задачами исследования являются уточнение взаимосвязей объектов, компонентов управления, а также типов потоков; выявление ролей потребителя и поставщика как источников потоков в цепях поставок; разработка классификации потоков с учётом объектов концепций управления цепями; создание формы карты потоков в цепях поставок.

В качестве методов исследования выбраны методы классификаций, анализа и синтеза, индукции и дедукции, а в качестве инструмента – бинарные матрицы, сформированные на основе актуальных качественных признаков изучаемых объектов.

Результаты исследования позволяют уточнить и дополнить положения управления цепями поставок, ценностей и требований на основе системного подхода; разработать практические рекомендации по сокращению упущенной выгоды при управлении потоками в цепях поставок; создать предпосылки для более эффективного создания и доставки ценностей.

Ключевые слова: поток, цепь, потребитель, поставщик, ценность, требование, новинка, управление цепями поставок, транспорт, логистика.

---

*Информация об авторах:
Тяпухин Алексей Петрович – доктор экономических наук, профессор, директор Оренбургского филиала федерального государственного учреждения науки Института экономики Уральского отделения Российской академии наук, Оренбург, Россия, ✉ aptyapuhin@mail.ru.
Коловертнова Мария Юрьевна – кандидат экономических наук, старший научный сотрудник Оренбургского филиала федерального государственного учреждения науки Института экономики Уральского отделения Российской академии наук, Оренбург, Россия, mariakolov@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 29.01.2021, принята к публикации 26.02.2021.

For the English text of the article please see p. 123.

ВВЕДЕНИЕ

Достижение целей предприятий в постоянно меняющейся внешней среде обеспечивается на основе внедрения современных подходов, принципов и методов, формирующих различные концепции управления, реализация которых предполагает непрерывное изменение мышления руководителей, а также форм и алгоритмов управления хозяйствующими субъектами в различных их комбинациях в зависимости от требований конечных потребителей продукции и/или услуг.

В последние десятилетия интенсивно развиваются концепции управления несколькими линейно упорядоченными предприятиями или цепями. Такими концепциями являются:

1) управление цепями поставок (англ. – Supply Chain Management или SCM) [1] и её варианты: управление поставками (англ. – Supply Management) [2]; интегрированное управление поставками (англ. – Integrated Supply Management) [3]; интегрированное управление цепями (англ. – Integrated chain management) [4]; управление устойчивостью цепей поставок (англ. – Sustainability Supply Chain Management) [5];

2) управление цепями ценностей (англ. – Value Chain Management) [6];

3) управление цепями требований (англ. – Demand Chain Management) [7].

Одной из особенностей данных концепций является их ориентация на компонент управления «потоки», важность которых ещё в 1958 году подчеркнул Дж. Форрестер [8]: *«Руководство находится на грани крупного прорыва в понимании того, как успех промышленной компании зависит от взаимодействия между потоками информации, материалов, денег, рабочей силы и капитального оборудования. То, как эти пять систем потоков взаимодействуют друг с другом, чтобы усиливать друг друга и вызывать изменения и колебания, станет основой для прогнозирования последствий решений, политики, организационных форм и инвестиционных решений»*.

Многообразие объектов управления цепями (поставок, ценностей и требований) предопределяет не только специфику параметров и характеристик их потоков, которую следует учитывать в рамках той или иной концепции управления, но и особенности трансформации данных объектов и потоков. Приоритетной задачей при этом является устранение барьеров на траекториях движения потоков объектов, в том числе в процессе их преобразования, что является важнейшим условием удовлетворённости конечного потребителя продукции и/или услуг полученной им ценностью.

Обзор литературных источников

Анализ научных источников подтверждает, что потоки действительно являются объектами управления цепями: ценностей [9], требований [10] и поставок [11]. Напомним, что «Поток – ...2. Движущаяся масса чего-нибудь...» [12].

Под поставкой понимается «система людей, процессов или организаций, которые работают вместе в определённом порядке»[1]. Данное определение позволяет утверждать, что, с одной стороны, поставки касаются ряда компонентов управления: организаций и процессов, а, с другой стороны, организации, используя отношения между ними, формируют цепь и выполняют процессы по управлению потоками. В связи с этим заслуживает внимания точка зрения Кр. Георги и Г. Кайзера: *«Определение SCM как различия интеграции/дезинтеграции, а не как различия движения/отсутствия движения, чётко отделяет SCM от логистики ...: в то время как ... решения, принимаемые в логистике, связаны с движением, решения в SCM связаны с интеграцией. Таким образом, логистика и SCM являются (или должны быть) двумя различными областями изучения»* [13].

Зарубежные источники дают скудную информацию о классификации потоков. В основном используются три классификационных признака: по типу ресурсов: материальные, информационные, финансовые и др. [8]; по направлению движения к конкретному предприятию: входные и выходные [14]; по направлению движения к конечному потребителю – «вниз по течению» и «вверх по течению» [15]. Следует отметить серьёзный вклад в решение данного вопроса ряда российских учёных [16–18].

[1] Chain. [Электронный ресурс]: https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/chain. Доступ 13.10.2020.

В ряде источников встречаются такие виды потоков, как: потоки требований [19]; потоки наличности [20]; потоки капитала [5]; потоки услуг [21]; потоки стоимостей, потоки прибыли и логистические потоки [22]; потоки знаний [23; 24]; потоки идей [25], а также потоки рабочей силы [8].

Потоки различаются не только по качеству, но и по количеству. Так, например, в источниках упоминаются: один поток [26]; два потока [27]; три потока [28]; четыре потока [25]; пять потоков [8]. Больше, чем шесть потоков перечисляют Т. Голдсби и Р. Мартиченко [23]. Однако при этом авторы не приводят достаточных аргументов, подтверждающих данные выводы. Одним из инструментов аргументации, по нашему мнению, является обоснование и использование соответствующих классификационных признаков для решения поставленной авторами задачи.

Проблема эффективного управления потоками усложняется тем, что потоки меняют параметры и характеристики в процессе их консолидации и разукрупнения. При этом приходится иметь дело с так называемыми интегрированными потоками, последовательность формирования которых представлена в работе [29]. Исходя из этого, в работе [30] обосновано содержание системного подхода к управлению потоками.

Приведённая выше информация, касающаяся потоков в цепях поставок, нуждается в уточнении и дополнении за счёт учёта специфики объектов (ценностей, требований, поставок) и компонентов (предприятий, процессов, отношений) перечисленных выше концепций управления цепями.

Целями исследования являются уточнение и дополнение теории и методологии управления потоками ценностей, требований, продуктов и/или услуг, а также новинок при внедрении и реализации концепций управления линейно упорядоченными предприятиями или цепями.

Важность ценности для управления цепями поставок

Напомним, что Американская ассоциация маркетинга начиная с 2007 г. использует определение маркетинга в следующей форме «деятельность, набор институтов и процессов для создания, передачи, предоставления и обмена предложениями, имеющими ценность для потребителей, клиентов, партнёров и общества в целом»[2]. Важность ценности для управления цепями поставок подчёркивает, например, Д. Секстон: «финансовый успех предприятия зависит от того, как управлять ценностью или восприятием потребителем того, что он получает, и стоимостью предоставления ценности потребителю» [31].

Одновременно следует учитывать, что ценность создаётся не только конечным потребителем продукции и/или услуг, но и их поставщиком или при участии поставщика. В этом случае речь идёт о продукте и/или услуге, являющихся новинками. При этом, как показывает практика, не каждая новинка создаёт ценность для конечного потребителя и не окупает затраты поставщика, поэтому не всякая новинка является инновацией.

Задачами исследования являются: уточнение взаимосвязей объектов, компонентов управления, а также типов потоков; выявление ролей потребителя и поставщика как источников потоков в цепях поставок; разработка классификации потоков с учётом объектов концепций управления цепями; создание формы карты потоков в цепях поставок.

В качестве *методов* исследования выбраны методы классификаций, анализа и синтеза, индукции и дедукции, а в качестве инструмента – бинарные матрицы [32]. Особенности использования данных методов и инструментов изложены в работах К. Д. Бэйли [33], Дж. В. Кресвелла [34], Х. Хамида [35], К. Чармаз [36].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Уточнение взаимосвязей компонентов управления и типов потоков в цепях поставок

Основные компоненты управления цепями можно выявить, используя следующие этапы: выделение из цепи канала, включающего два звена, – поставщика и потребителя ресурсов, а также отношений между ними; определение задач данных звеньев с ориентацией на создание

[2] About American Marketing Association. Definition of Marketing. [Электронный ресурс]: https://www.ama.org/AboutAMA/Pages/Definition-of-Marketing.aspx. Доступ 29.10.2018.

Таблица 1

Задачи звеньев канала поставок и адекватные им компоненты управления (составлена авторами)

Задачи звена канала поставок:		Компонент управления
Потребителя	Поставщика	
1) идентификация недостаточности чего-либо и определение способа её устранения;	1) выживание в конкурентной среде за счёт производства продукта и/или оказания услуги;	Предприятия
2) выбор продукта и/или услуги и их поставщика;	2) привлечение потребителей продукта и/или услуги;	Отношения
3) оформление требования, ожидание и приобретение продукта и/или услуги:	3) изготовление продукта и/или подготовка к оказанию услуги;	Процессы (операции)
4) получение продукта и/или услуги и далее ценности	4) доставка и передача продукта и/или оказание услуги	Поток (запас)

Вид потока (запаса)	Код потока (запаса)	Состояние объекта потока (запаса)				
		S1	S2	S3	S4	S5
Материальный (М)	**00**	**SПХ1**	**SПХ2**	**SПХ3**	**SПХ4**	**SПХ5**
МП1	000000	М1ПХ1	М2ПХ1	М3ПХ1	М4ПХ1	М5ПХ1
МП...	...	...	...	...	...	...
МПК	001111	М1ПХК	М2ПХК	М3ПХК	М4ПХК	М5ПХК
Информационный (И)	01					
ИП1	010000	И1ПХ1	И2ПХ1	И3ПХ1	И4ПХ1	И5ПХ1
ИП...	...	...	...	...	...	...
ИПL	011111	И1ПХL	И2ПХL	И3ПХL	И4ПХL	И5ПХL
Финансовый (Ф)	10					
ФП1	100000	Ф1ПХ1	Ф2ПХ1	Ф3ПХ1	Ф4ПХ1	Ф5ПХ1
ФП...	...	...	...	...	...	...
ФПМ	101111	Ф1ПХМ	Ф2ПХМ	Ф3ПХМ	Ф4ПХМ	Ф5ПХМ
Людской (Л)	11					
ЛП1	110000	Л1ПХ1	Л2ПХ1	Л3ПХ1	Л4ПХ1	Л5ПХ1
ЛП...	...	...	...	...	...	...
ЛПN	111111	Л1ПХN	Л2ПХN	Л3ПХN	Л4ПХN	Л5ПХN

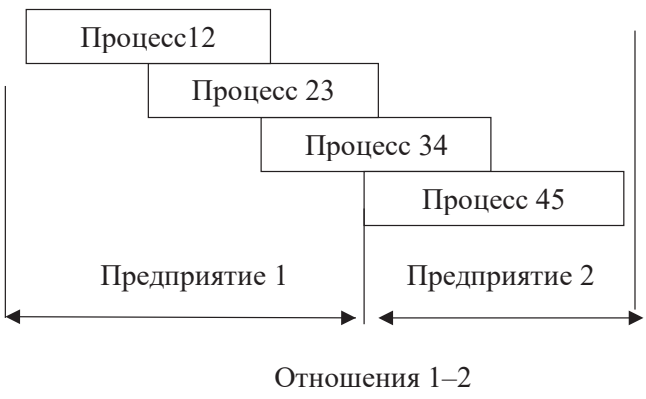


Рис. 1. Схема связей компонентов управления (разработано авторами).

и доставку ценности потребителю (звену канала); установление соответствия задач звеньев канала определённому компоненту управления.

Изложенные выше задачи и адекватные им компоненты управления представлены в табл. 1.

Как следует из содержания табл. 1, звенья канала (поставщик и потребитель) выполняют по четыре укрупнённые задачи, которые взаимозависимы и взаимосвязаны. Первые задачи касаются поставщика и потребителя как хозяйствующих субъектов или предприятий. Эффективность решения следующих двух задач зависит от содержания отношений между поставщиком и потребителем. Третьи задачи предполагают выполнение процессов (операций), предусмотренных достигнутыми между ними соглашениями. И, наконец, четвёртые задачи непосредственно касаются доставки, передачи и получения продуктов и/или услуг либо в форме их потоков, либо в форме запасов.

Содержание табл. 1 позволяет разработать схему связей компонентов управления, представленную на рис. 1.

Представленная на рис. 1 схема предполагает реализацию системного подхода к управлению цепями поставок, ориентированного одновременно на четыре объекта управления, главными из которых являются многочисленные потоки, имеющие соответствующие коды, обрабатываемые программным продуктом с целью сокращения упущенной выгоды звеньев цепей поставок.

Основу данной схемы составляет объект (ценность, требование, продукт и/или услуга) в форме потока или запаса. На различных этапах создания и доставки данный объект характеризуется определённым состоянием в зависимости от операций технологического, логистического и иных процессов. На рис. 1 выделено пять таких состояний. Помимо указанного выше объекта управления, который является основным, необходимо учитывать объекты управления, являющиеся сопутствующими. Данный статус объекта управления предполагает выделение основного и сопутствующих потоков (запасов), которые могут быть, материальными, информационными, финансовыми и людскими. При этом ценность для конечного потребителя, формируемую его ощущениями и впечатлениями, могут создавать объекты данных потоков как в совокупности, так и по отдельности. На рис. 1 основным потоком является материальный поток, а объектом выступает продукт. При управлении данным потоком учитываются состояния данного продукта (в виде сырья, полуфабриката и т. п.), обозначенные символами «*S*ПХ*i*», где S – состояние основного объекта, nx – его параметры и характеристики, i – порядковый номер состояния данного объекта. Каждому состоянию объекта соответствует определённое количество сопутствующих объектов в составе материальных, информационных, финансовых или людских потоков (запасов). Для каждого состояния основного объекта управления количество и качество данных потоков может меняться. Каждый из этих потоков может иметь двоичный код для цифровой обработки и описываться соответствующими параметрами и характеристиками. Коды потоков могут быть получены на основе бинарных матриц, содержащих актуальные классификационные признаки, описывающие конкретный объект и/или поток. Перевод основного объекта управления из одного состояния в другое обеспечивается на основе четырёх процессов, выполняемых конкретным предприятием. На рис. 1 указано, что три (13) из четырёх процессов выполняет предприятие 1, а четвёртый (45) – предприятие 2. Управление потоками при этом выполняется на основе отношений 13–45 между данными предприятиями.

Если содержание рис. 1 учитывает только один меняющийся объект управления (в частности, продукт), то содержание рис. 2 опирается на изменение (трансформацию) нескольких объектов управления цепями (ценностей, требований, продуктов и/или услуг, а также новинок).

Использование новинки в качестве объекта управления обусловлено широко известным фактом, что «фирмы предлагают ценностные предложения, а клиенты принимают эти ценностные предложения и сотрудничают в создании ценности» с данными фирмами [37–39].

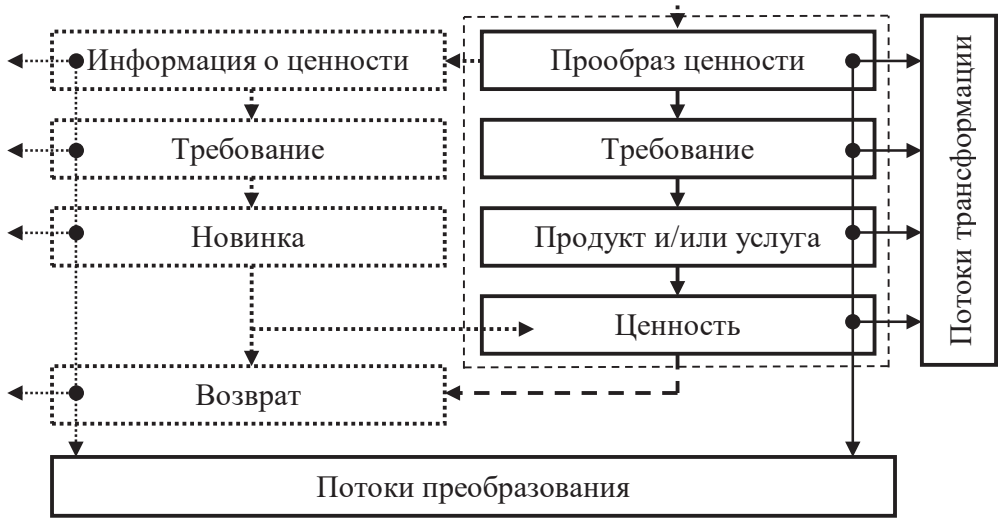


Рис. 2. Объекты управления и типы потоков в цепях поставок (разработано авторами).

Содержание рис. 2 основано на том, что потребитель, испытывая недостаточность чего-либо (табл. 1), формирует прообраз ценности, который он в дальнейшем конкретизирует либо самостоятельно, либо с привлечением компетентной организации, того же поставщика, который изучает предпочтения и поведение как самого потребителя, так и его прообраз ценности. После конкретизации данного прообраза потребитель формирует требование, которое оформляется как заказ, включающий приобретение ресурсов, их переработку и доставку продукта и/или услуги в место назначения. Данный продукт и/или услуга в процессе потребления либо создаёт необходимую потребителю ценность, либо подлежит возврату. В свою очередь, поставщик, получив необходимую информацию о прообразе ценности, также формирует требования своим поставщикам, изготавливает продукт или готовится к оказанию услуги. Продукт или услуга в этом случае могут быть новыми как для потребителя, так и для поставщика. Данная новинка предлагается потребителю и далее либо создаёт ценность или отторгается потребителем.

На рис. 2 можно видеть два типа потоков: потоки трансформации, способствующие изменению состояния конкретного объекта управления (рис. 1), и потоки преобразования, обеспечивающие переход от одного объекта управления к другому.

Выявление ролей потребителя и поставщика как источников потоков в цепях поставок

При управлении цепями на основе маркетинга в качестве основной используется концепция потребителя или «проведение всей маркетинговой деятельности с убеждением в том, что отдельный клиент является центральной единицей анализа и действия» [40]. Следовательно, формирование и движение потоков в рамках базовых концепций управления цепями зависят от той роли, которую выполняет данный потребитель, а также поставщик, оказывающий косвенное воздействие на формируемую потребителем ценность.

Если учитывать такие классификационные признаки как источник создания ценности – продукт и/или услуга или прообраз; форма проявления недостаточности у потребителя – ощущение или устранение, можно установить следующие роли потребителя и поставщика: испытатель, коммуникатор, разработчик и исследователь (рис. 3).

Из содержания рис. 3 следует, что каждая роль потребителя и поставщика предусматривает выполнение конкретного процесса, начиная с потребления как основы формирования прообраза ценности, далее предполагая консалтинг/обучение, творчество, проектирование и заканчивая потреблением продукта и/или услуги и получением ценности. Каждая роль и, соответственно, каждый про-

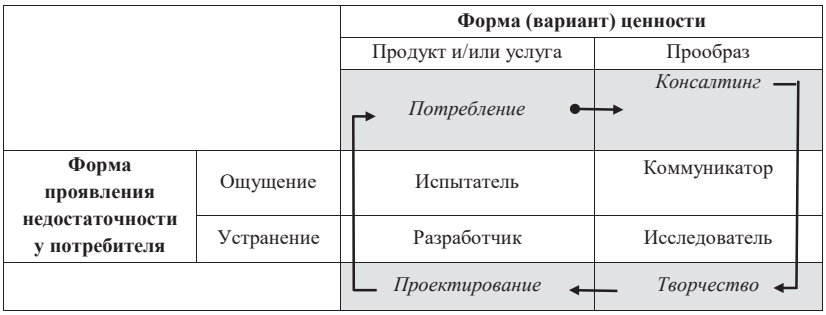


Рис. 3. Роли потребителя и поставщика как источников потоков (разработано авторами).

Объект (по отношению к чему?)		Компонент системы управления потоками	
		Субъект (кто?)	
Способ решения задачи субъектом	Копирование имеющегося	Умение	Знание
	Создание нового	Навык	Компетенция

Рис. 4. Классификация характеристик потребителя и поставщика (разработано авторами).

Таблица 2

Характеристика ролей потребителя и поставщика как звеньев цепей поставок (разработана авторами)

Роли потребителя и поставщика	Характеристики потребителя и поставщика			
	Умение	Знание	Навык	Компетенция
Испытатель				
Исследователь				
Разработчик				
Коммуникатор				

цесс предполагает изучение параметров и характеристик или некие «квалификации» потребителя и поставщика, описать которые можно на основе таких классификационных признаков, как: компонент системы управления потоками – объект или субъект, а также способ решения задачи субъектом – копирование имеющегося или создание нового способа. Данные признаки позволяют выявить четыре характеристики потребителя и поставщика: умение, знание, навык и компетенцию (рис. 4).

Роль исследователя предполагает, с одной стороны, определение потребителем тех ощущений и впечатлений, которые он планирует получить в процессе потребления продукта и/или услуги, а, с другой стороны, определение поставщиком потребительских свойств данных продукта и/или услуги, способных создать данные ощущения и впечатления.

Роль разработчика, выполняемая как потребителем, так и поставщиком, сводится к проектированию и разработке продукта и/или услуги, способных создать требуемую ценность.

Роль коммуникатора учитывает характер отношений и особенности коммуникаций между потребителем и поставщиком, а также с контрагентами по поводу создания требуемой ценности.

Роль испытателя реализуется на стадии тестирования продукта и/или услуги поставщиком с целью оценки их соответствия требованиям конечного потребителя и возможной их доработки перед отправкой потребителю. Очевидно, что данную роль выполняет и потребитель, сравнивающий прообраз ценности с ре-

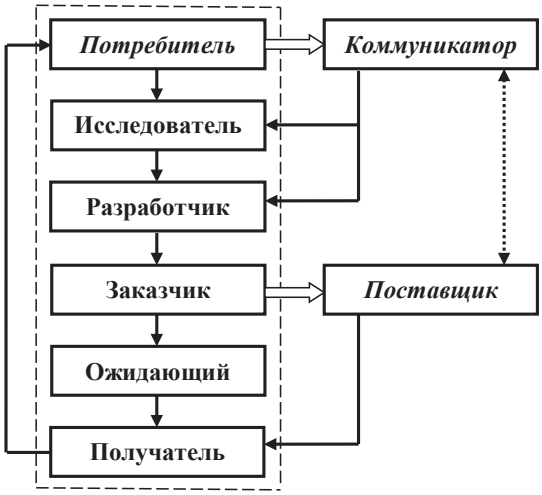


Рис. 5. Последовательность ролей потребителя и поставщика как звеньев цепей поставок (разработано авторами).

Прообраз		Форма (вариант) ценности	
		Продукт и/или услуга	
Этапы формирования ценности потребителя	Создание	Поток образов (Об)	Поток ощущений (Ощ)
	Анализ и оценка	Поток мыслей (Мс)	Поток впечатлений (Вп)

Рис. 6. Классификация потоков ценности (разработано авторами).

ально полученными ощущениями и впечатлениями.

Совместное использование содержания рис. 3 и 4 позволяет дать предварительную оценку параметров и характеристик потребителя и поставщика с точки зрения эффективности решения задач, представленных в табл. 1. Это показано в табл. 2.

Кроме прочего, информация рис. 4 позволяет разработать последовательность (динамику) ролей потребителя и поставщика как звеньев цепей поставок (рис. 5).

Как следует из содержания данного рисунка, в дополнение к ролям потребителя, представленным на рис. 3, можно добавить роли заказчика, ожидающего и получателя. Причём сокращение времени ожидания выполнения заказа является важнейшим управленческим решением, обеспечивающим конкурентоспособность поставщика. Роль коммуникатора выполняют как потребитель, так и поставщик. В ряде случаев эту роль может выполнять сторонняя организация, характеристики которой (рис. 4) позволяют оказывать решающее воздействие на принятие решения потребителем о параметрах и характеристиках продукции и/или услуг.

Разработка классификации потоков с учётом объектов концепций управления цепями

Используя информацию рис. 2, на основе бинарных матриц можно определить основные виды потоков, тяготеющих к тому или иному объекту концепции управления цепями.

Для определения вариантов потоков при управлении цепями ценностей предлагается использовать следующие классификационные признаки: форма (вариант) ценности – продукт и/или услуга или прообраз; этапы формирования ценности потребителя – создание или анализ и оценка. В результате использования данных признаков можно дополнить существующую классификацию потоков такими потоками, как: поток образов, поток мыслей, поток ощущений и поток впечатлений (рис. 6).

Для определения вариантов потоков при управлении цепями требований предлагается использовать следующие классификаци-

Предыдущее (будущий потребитель)		Место предприятия в цепи поставок	
		Последующее (будущий поставщик)	
Операции с прообразом ценности	Согласование	Поток запросов (Зп)	Поток предложений (Пр)
	Подготовка к выполнению	Поток заданий (рекламаций) (Зд)	Поток заказов (Зк)

Рис. 7. Классификация потоков требований (разработано авторами).

Не новая		Новизна управленческой ситуации	
		Новая	
Уникальность подхода к управлению	Уникальный	Поток опыта (Оп)	Поток интуиции (Ин)
	Апробированный	Поток расчётов (Рс)	Поток экспериментов (Эк)

Рис. 8. Классификация потоков новинок, формируемых потребителем (разработано авторами).

Не новая		Новизна управленческой ситуации	
		Новая	
Уникальность подхода к управлению	Уникальный	Поток опыта (Оп)	Поток интуиции (Ин)
	Апробированный	Поток расчётов (Рс)	Поток экспериментов (Эк)

Рис. 9. Классификация потоков новинок, формируемых поставщиком (разработано авторами).

онные признаки: место предприятия в цепи поставок – предыдущее (будущий потребитель ценности) или последующее (будущий поставщик ценности); операции с прообразом ценности потребителя – согласование или подготовка к выполнению. В результате использования данных признаков можно дополнить существующую классификацию потоков такими потоками, как: поток запросов, поток заданий (рекламаций), поток предложений и поток заказов (рис. 7).

Для определения вариантов потоков при управлении новинками (цепями новинок) следует учитывать, что эти новинки создаются как потребителем, так и поставщиком. При их взаимодействии формируются потоки новинок потребителя и поставщика, соответственно. Для определения вариантов потоков, формируемых потребителем, предлагается использовать следующие классификационные признаки:

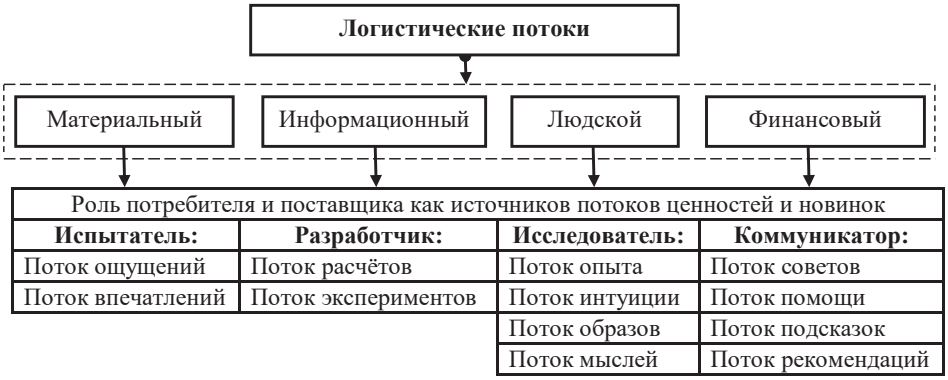
- новизна управленческой ситуации: не новая (известная) или новая (неизвестная);
- уникальность подхода к управлению новинками: уникальный или апробированный.

В результате использования данных признаков можно дополнить существующую классификацию потоков такими, как:

- поток опыта;
- поток интуиции;
- поток расчётов;
- поток экспериментов (рис. 8).

Как следует из содержания рис. 8, поток как объект исследования логистики выходит за рамки основных концепций управления экономическими объектами и может быть объектом исследования в маркетинге при изучении поведения потребителя, в социологии – при изучении организационной культуры и конфликтов, в антропологии – при изучении норм, ценностей и позиций, психологии – при изучении человека в целом и др. Данный аспект исследования существенно расширяет потенциал логистики за рамки традиционных для неё экономики и управления.

Для определения вариантов потоков, формируемых поставщиком, предлагается использовать следующие классификационные признаки: вариант сопровождения потока ценности поставщиком или кон-



Роль потребителя и поставщика как источников потоков ценностей и новинок			
Испытатель:	**Разработчик:**	**Исследователь:**	**Коммуникатор:**
Поток ощущений	Поток расчётов	Поток опыта	Поток советов
Поток впечатлений	Поток экспериментов	Поток интуиции	Поток помощи
		Поток образов	Поток подсказок
		Поток мыслей	Поток рекомендаций

Рис. 10. Основные типы ролей потребителя и поставщика, а также потоков ценностей и новинок (разработано авторами).

Прямая		Характер связи объекта потока с ценностью	
		Косвенная	
Функция объекта потока по отношению к ценности	Создание	Поток продуктов (Пр)	Поток транспортных средств (ТС)
	Сопровождение	Поток тары (упаковки) (Тр)	Поток погрузочно-разгрузочных средств (ПРС)

Рис. 11. Классификация потоков основных (продукты) и вспомогательных объектов (разработано авторами).

сультация и поддержка; уникальность подхода к управлению новинками – уникальный или апробированный. В результате использования данных признаков можно дополнить существующую классификацию потоков таким потоком, как поток советов.

Совместное использование рис. 3, 6, 8 и 9 позволяет уточнить классификацию предлагаемых потоков в зависимости от роли потребителя и поставщика (рис. 10).

Потоки ценностей и потоки новинок являются информационными (за исключением макетов, моделей и т.п., которые можно отнести к материальным потокам), а их генерирующими и поглощающими пунктами являются люди. Поскольку разработчиком, исследователем, коммуникатором и даже потребителем ценности может быть не только её непосредственный потребитель, но и поставщик, то потоки, представленные на рис. 6, 8 и 9, характерны и для поставщика.

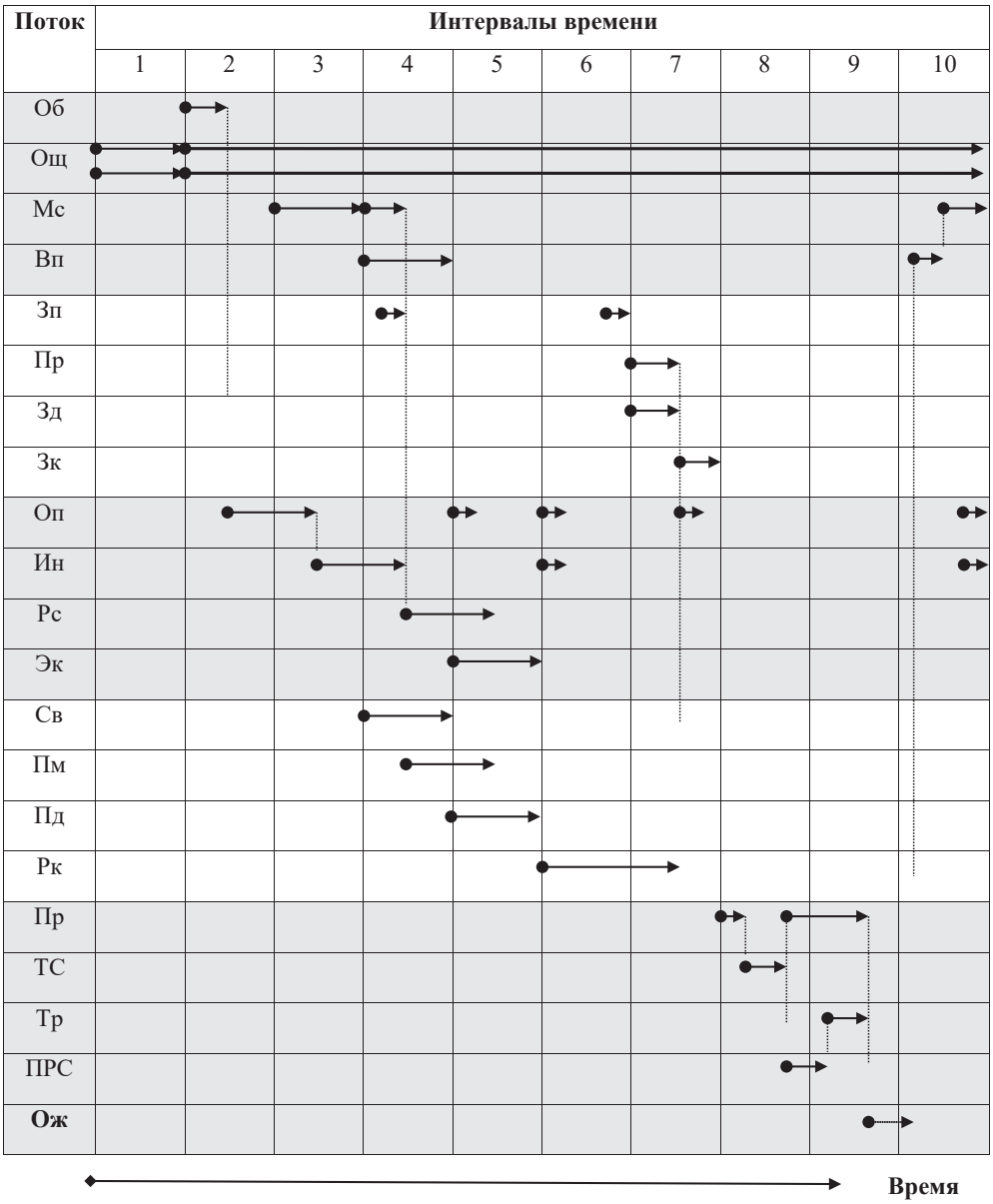
Для определения вариантов потоков при управлении потоками продукции и/или услуг предлагается использовать следующие квалификационные признаки: характер связи объекта потока с ценностью потребителя – прямая (непосредственная) или косвенная (сопутствующая); функция объекта потока по отношению к ценности – создание или сопровождение ценности. В результате использования данных признаков можно выявить такие потоки, как: поток продуктов, поток тары (упаковки), поток транспортных средств и поток погрузочно-разгрузочных средств (рис. 11).

Разработка карты потоков в цепях поставок

Изложенный выше материал позволяет разработать карту потоков в цепях поставок (табл. 3). Содержание табл. 3 позволяет сделать следующие выводы. Время движения потока делится на несколько интервалов. В табл. 3 представлены десять таких интервалов. Потоки движутся последовательно и параллельно в зависимости от специфики решаемых потребителем и поставщиком задач. Начальным и наиболее важным потоком является поток ощущений потребителя, связанный с наличием недостаточности чего-либо. Причём данная недостаточность может ощущаться в различной степени. Основным резервом создания дополнительной ценности для

Таблица 3

Пример карты потоков ценностей, новинок, требований, продуктов и/или услуг (составлена авторами)



потребителя является сокращение интервала времени его ожидания от заказа продукции и/или услуг до получения ценности. Кроме того, дополнительным резервом такого рода является более раннее понимание прообраза ценности потребителя и оперативное управление потоками, представленными на рис. 10.

Представленная в табл. 3 карта потоков ценностей, новинок, требований, продуктов и/или услуг является основой для реализации процессного подхода к управлению цепями поставок и отличается от традиционных карт бизнес-процессов тем, что, с одной стороны, учитывает ценности конечных потребителей продукции и/или услуг, а, с другой стороны, предполагает, что под каждый поток следует подобрать конкретные системы и конкретные процессы, необходимые для управления этим потоком, ориентируясь на данные рис. 1.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данного исследования получены следующие результаты, имеющие признаки научной новизны: взаимосвязи компонентов управления и типов потоков в цепях поставок (табл. 1, рис. 1 и 2); роли потребителя и поставщика как источников данных потоков (рис. 3 и 5); классификация потоков с учётом объектов управления цепями (рис. 6–9; 11); форма карты потоков в цепях поставок (табл. 3).

Приведённые выше результаты в ходе дальнейших исследований позволят уточнить и дополнить взаимосвязи управления цепями поставок и управления цепями ценностей и требований на основе системного подхода; разработать практические рекомендации по сокращению упущенной выгоды при управлении потоками в цепях поставок; создать предпосылки для более эффективного создания и доставки ценностей.

На основе полученных результатов в дальнейшем планируется уточнить сущность и содержание концепции управления цепями в целом; дополнить положения теории и методологию управления цепями в части проектирования, формирования и оптимизации основных объектов и компонентов управления данного типа; разработать методические рекомендации по повышению эффективности системы управления цепями с учётом специфики их деятельности на региональном и отраслевом уровнях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Oliver, R. K., Weber, M. D. Supply-chain management: Logistics catches up with a strategy. In M. L. Christopher (Ed.). Logistics: The strategic issues. London, Chapman & Hall, 1982, pp. 63–75. [Электронный ресурс]: https://www.worldcat.org/title/logistics-the-strategic-issues/oclc/24700740. Доступ 26.02.2021.

2. Schiele, H. Purchasing and Supply Management. Eds.: Zijm, H., Klumpp, M., Regattieri, A., Heragu, S. Operations, Logistics and Supply Chain Management, Springer International Publishing, 2019. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/327320611_Purchasing_and_Supply_Management/link/5cc6d496299bf1209787a605/download. Доступ 26.02.2021.

3. Bogaschewsky, R. Integrated Supply Management: Zukunftskonzeptfür die Beschaffung. In: Bogaschewsky, R. (Hrsg.). Integrated Supply Management: Einkauf und Beschaffung, Köln, 2003, pp. 23–52. [Электронный ресурс]: https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Integrated%20Supply%20Management%20%E2%80%94%20Zukunftskonzept%20f%C3%BCr%20die%20Beschaffung&author=R.%20Bogaschewsky&pages=23-52&publication_year=2003. Доступ 26.02.2021.

4. Wolters, T., James, P., Bouman, M. Stepping-stones for integrated chain management in the firm. Business Strategy and the Environment, 1997, Vol. 6, pp. 121–132. [Электронный ресурс]: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/%28SICI%291099-0836%28199707%296%3A3%3C121%3A%3AAID-BSE107%3E3.0.CO%3B2-C https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0836(199707)6:3<121::AID-BSE107>3.0.CO;2-C. Доступ 26.02.2021.

5. Seuring, S., Muller, M. From a Literature Review to a Conceptual Framework for Sustainable Supply Chain Management. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/223590572_From_a_Literature_Review_to_a_Conceptual_Framework_for_Sustainable_Supply_Chain_Management. DOI:10.1016/j.jclepro.2008.04.020. Доступ 26.02.2021.

6. APICS. Association for Operations Management. APICS Dictionary. Thirteenth edition, 2010. [Электронный ресурс]: http://www.apics.org/apics-for-individuals/publications-and-research/apics-dictionary. Доступ 11.03.2021.

7. Rainbird, M. Demand and supply chains: the value catalyst. International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, 2004, Vol. 34 (3/4), pp. 230–250. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/235275195_Demand_and_supply_chains_The_value_catalyst. DOI: 10.1108/09600030410533565. Доступ 26.02.2021.

8. Forrester, J. W. Industrial dynamics: A major breakthrough for decision makers. Harvard Business Review, 1958, Vol. 38, pp. 37–66. [Электронный ресурс]: https://kupdf.net/download/industrial-dynamics-a-major-breakthrough-for-decision-makers_5902479bdc0d603940959ed5_pdf. Доступ 26.02.2021.

9. Ramsey, J. G. The real meaning of value in trading relationships. International Journal of Operations & Production Management, 2005, Vol. 25 (2), pp. 549–565.

10. Hull, B. Are supply (driven) chains forgotten? International Journal of Logistics Management, 2005, Vol. 16 (2), pp. 218–236. [Электронный ресурс]: https://ru.scribd.com/document/82413729/The-Real-Meaning-of-Value. Доступ 26.02.2021.

11. Harland, C. M. Supply Chain Management: Relationships, Chains and Networks. British Journal of Management, 1996, Vol. 7, Special Issue, pp. 63–80.

12. Ожегов С. И., Шведова Н. Ю. Толковый словарь русского языка. – М.: Азбуковник, 1998. – 944 с. [Электронный ресурс]: https://ru.scribd.com/document/82413729/The-Real-Meaning-of-Value. DOI: 10.1111/j.1467-8551.1996.tb00148.x. Доступ 26.02.2021.

13. Georgi, C., Kaiser, G. A taxonomy of Supply Chain Management functions? A systemic-constructivist perspective on Logistics vs. SCM, 14th International Symposium on Logistics «Global supply chains and inter-firm networks», Istanbul, Turkey, 5–8 July, 2009, pp. 15–23. [Электронный ресурс]: http://www.isl21.org/wp-content/uploads/pdf/14thISLProceedings-Istanbul-Turkey.pdf. Доступ 26.02.2021.

14. Gundlach, G. T., Bolumole, Y. A., Eltantawy, R. A., Frankel, R. The changing landscape of supply chain management, marketing channels of distribution, logistics and purchasing. Journal of Business and Industrial Marketing, 2006, Vol. 21, Iss. 7, pp. 428–438. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/241708510_The_changing_landscape_of_supply_chain_management_marketing_channels_of_distribution_logistics_and_purchasing. DOI: 10.1108/08858620610708911. Доступ 26.02.2021.

15. Waters, D. Global Logistics and Distribution Planning–Strategies for Management. Kogan Page Limited, London, 2003. [Электронный ресурс]: https://pdfslide.net/documents/global-logistics-and-distribution-planning-strategies-for-management.html. Доступ 26.02.2021.

16. Новиков О. А., Уваров С. А. Логистика. – СПб.: Изд. дом «Бизнес-пресса», 2000. – 208 с.

17. Гаджинский А. М. Логистика: Учебник. – М.: Информационно-внедренческий центр «Маркетинг», 1998. – 228 с.

18. Сергеев В. И. Менеджмент в бизнес-логистике. – М.: Информационно-издательский дом «Филин», 1997. – 772 с.

19. Ayers, J. B., Odegaard, M. A. Retail supply chain management. Auerbach Publications Taylor and Francis Group, 2008. [Электронный ресурс]: https://www.academia.edu/28168413/Retail_Supply_Chain_Management. Доступ 26.02.2021.

20. Chopra, S., Meindl, P. Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation. Hoboken, NJ: Prentice Hall, 2010. [Электронный ресурс]: https://base-logistique-services.com/storage/app/media/Chopra_Meindl_SCM.pdf. Доступ 26.02.2021.

21. Blackhurst, J., Cantor, D., O'Donnell, M. Sustainable Supply Chains: A Guide for Small – to Medium-sized Manufacturers, 2012. [Электронный ресурс]: https://www.hbs.edu/faculty/conferences/2015-strategy-research/Documents/Sustainable%20Supply%20Chains.pdf. Доступ 26.02.2021.

22. Mahadevan, B. Business models for internet-based e-commerce: an anatomy. California Management Review, 2000, Vol. 42 (4), pp. 55–69. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/228718351_Business_Models_for_Internet-Based_E-Commerce_An_Anatomy. DOI: 10.2307/41166053. Доступ 26.02.2021.

23. Goldsby, T., Martichenko, R. Lean six sigma Logistics. Strategic Development to Operational Success. J. Ross Publishing, Inc., U.S.A., 2005. [Электронный ресурс]: https://mynotesonsystemicthinking.files.wordpress.com/2011/02/lean-six-sigma-logistics.pdf. Доступ 26.02.2021.

24. Ayers, J. B. Handbook of Supply Chain Management. 2nd ed. Boca Raton: Auerbach Publications, 2006. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/268372315_Handbook_of_Supply_Chain_Management. Доступ 26.02.2021.

25. Sheffi, Y., Klaus, P. Logistics at Large: Jumping the Barriers of the Logistics Function. Council of Logistics Management Educators' Conference Chicago, IL, 1997. [Электронный ресурс]: http://web.mit.edu/sheffi/www/documents/CLM-Logistics%20at%20Large.pdf. Доступ 26.02.2021.

26. Waters, C. D. J. Supply chain management: An introduction to logistics. New York: Palgrave Macmillan, 2009. [Электронный ресурс]: http://bookfi.net/book/466312. Доступ 26.02.2021.

27. Harrison, A., van Hoek, R. Logistics Management and Strategy Competing through the supply chain. 3rd edition. Prentice Hall. Pearson Education Limited, 2008. [Электронный ресурс]: https://vulms.vu.edu.pk/Courses/MGMT615/Downloads/Logistics%20Management%20and%20Strategy%20Competing%20Through%20the%20Supply%20Chain.pdf. Доступ 26.02.2021.

28. Frazelle, E. Supply Chain Strategy. The Logistics of Supply Chain Management. McGraw-Hill Companies, 2002. [Электронный ресурс]: https://www.pdfdrive.com/supply-chain-strategy-the-logistics-of-supply-chain-management-e189929552.html. Доступ 26.02.2021.

29. Тяпухин А. П. Обоснование последовательности формирования интегрированных потоков материальных ресурсов // Логистика. – 2017. – № 8 (129). – С. 46–51. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29911926. Доступ 26.02.2021.

30. Тяпухин А. П., Хайтбаев В. А. Системный подход к управлению потоками ресурсов // Логистика. – 2016. – № 11 (120). – С. 48–54. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27450397. Доступ 26.02.2021.

31. Sexton, D. Maximizing the value of a business: Using the right metrics. Business and Economics Journal, 2014, Vol. 5 (1). [Электронный ресурс]: https://www.hilarispublisher.com/open-access/maximizing-the-value-of-a-business-using-the-right-metrics-2151-6219-5-e102.pdf. DOI: 10.4172/2151-6219.1000e102/. Доступ 26.02.2021.

32. Warfield, J. N. Binary Matrices in System Modeling. Transactions on systems, man, and cybernetics, 1973, Vol. 3 (5), pp. 441–449. [Электронный ресурс]: https://systemsconcept.org/html/Content/BM_1973%20.pdf. DOI: 10.1109/TSMC.1973.4309270. Доступ 26.02.2021.

33. Bailey, K. D. Typologies and taxonomies: An introduction to classification techniques. London: Sage Publications, Inc., 1994. [Электронный ресурс]: http://www.bookre.org/reader?file=677240. Доступ 26.02.2021.

34. Creswell, J. W. Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. 4th ed. USA: SAGE Publications, Inc., 2014. [Электронный ресурс]: https://www.pdfdrive.com/john-w-creswell-research-design_-qualitative-quantitative-and-mixed-methods-approaches-e24960021.html. Доступ 26.02.2021.

35. Hameed, H. Quantitative and qualitative research methods: Considerations and issues in qualitative research. Preprint, 2020. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/342491265_Quantitative_and_qualitative_research_methods_Considerations_and_issues_in_qualitative_research/link/5ef6c13b92851c52d60064b5/download. Доступ 09.01. 2021.

36. Charmaz, K. Constructing Grounded Theory: A Practical Guide Through Qualitative Analysis. London, Thousand Oaks, New Delhi, SAGE Publications Ltd., 2006. [Электронный ресурс]: http://www.sxf.uevora.pt/wp-content/uploads/2013/03/Charmaz_2006.pdf. Доступ 26.02.2021.

37. Loanne, S. S., Webster, C. M. Consumer-to-consumer value within social networks. The Marketing Review, 2014, Vol. 14, Iss. 4, pp. 447–462. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/272385518_Consumer-to-consumer_value_within_social_networks. DOI: 10.1362/146934714X14185702841442. Доступ 26.02.2021.

38. Vargo, S.L., Lusch, R.F. Evolving to a New Dominant Logic for Marketing. Journal of Marketing, 2004, 68 (1), pp. 1–17. DOI: 10.1509/jmkg.68.1.1.24036.

39. Vargo, S.L., Lusch, R.F. Service-dominent logic: continuing the evolution. Journal of the Academy of Marketing Science, 2008, 36 (1), pp. 1–10. DOI: 10.1007/s11747-007-0069-6.

40. Kumar, V., Reinartz, W. Customer Relationship Management. Concept, Strategy and Tools. Third Edition. Springer-Verlag GmbH, Germany, 2018, XXV, 411 p. ISBN 97 8-3-662-55380-0. eBook ISBN 97 8-3-662-55381-7. ●

Благодарности. Статья подготовлена в соответствии с государственным заданием Минобрнауки России для ФГБУН Института экономики УрО РАН на 2021 год.

DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-1-110-134

Flows in Value Chains





Tyapukhin, Alexey P., *Orenburg Branch of the Institute of Economics of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia.*
Kolovertnova, Maria Yu., *Orenburg Branch of the Institute of Economics of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia*.*

Alexey P. TYAPUKHIN **Maria Yu. KOLOVERTNOVA**

ABSTRACT

Achieving the goals of enterprises and their survival in market conditions is achieved through implementation of supply chain management concepts, values, and demands focused on managing resource flows to create and deliver value to their end users.

The subject of the research is relationship between consumers and suppliers as links in the supply chain that form and transform flows of values, demands, products and/or services, as well as novelty in a competitive environment.

The objectives of the research are to clarify and supplement the theory and methodology of managing flows of values, demands, products and/or services, as well as novelties while introducing and implementing management concepts for linearly ordered enterprises or chains.

The tasks of the research are to clarify interrelationship of objects, management components, and types of flows; to identify the roles of the consumer and supplier as sources of flows in supply chains; to develop classification of flows considering the objects of the concepts of chain management; to create a form of a flow map regarding flows in supply chains.

Research has used the methods of classification, analysis and synthesis, induction, and deduction, and the tools of binary matrices developed based on relevant qualitative characteristics of the objects under the study.

The results of the research make it possible to clarify and supplement provisions regarding supply, value and demand chain management based on a systematic approach; to develop practical recommendations to reduce lost profits when managing flows in supply chains; to create prerequisites for more efficient value creation and its supply.

Keywords: *flow, chain, consumer, supplier, value, demand, novelty, supply chain management, transportation, logistics.*

---

*Information about the authors:
Tyapukhin, Alexey P. – D.Sc. (Economics), Professor, Director of Orenburg Branch of the Institute of Economics of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia, ✉ aptyapuhin@mail.ru.
Kolovertnova, Maria Yu. – Ph.D. (Economics), Senior Researcher at Orenburg Branch of the Institute of Economics of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia, mariakolov@mail.ru.

Article received 29.01.2021, accepted 26.02.2021.

For the original Russian text of the article please see p. 110.

INTRODUCTION

Achieving the goal of enterprises in a constantly changing external environment is ensured through adoption of modern approaches, principles and methods that form various management concepts, implementation of which implies a continuous change in the way of thinking of managers, as well as in forms and algorithms for managing business entities in their various combinations, depending on the demands of end users of products and/or services.

In recent decades, the concepts of managing several linearly ordered enterprises or chains have been intensively developed. These concepts comprise:

1) Supply Chain Management or SCM [1] and its variants: Supply Management [2]; Integrated Supply Management [3]; Integrated chain management [4]; Sustainability Supply Chain Management [5].

2) Value Chain Management [6].

3) Demand Chain Management [7].

One of the features of these concepts is their focus on the management component «flows», the importance of which was emphasised in 1958 by J. W. Forrester [8]: «*Management is on the verge of a major breakthrough in understanding how industrial company success depends on the interactions between the flows of information, materials, money, manpower, and capital equipment. The way these five flow systems interlock to amplify one another and to cause change and fluctuation will form the basis for anticipating the effects of decisions, policies, organizational forms, and investment choices*».

The variety of objects of supply, value and demand chains' management predetermines not only the specifics of parameters and characteristics of their flows, which should be considered within the framework of a particular management concept, but also the features of transformation of these objects and flows. In this case, the priority task is to eliminate barriers on the trajectories of movement of flows of objects, including in the process of their transformation, which is the most important condition for satisfaction of the end consumer of products and/or services with the value the consumer has received.

Review of literature

Analysis of research publications confirms that flows are indeed objects of value [9], demand [10] and supply [11] chain management. Let's remind that «*Flow is... 2. A moving mass of something ...*» [12].

Supply refers to « *a system of people, processes, or organizations that work together in a particular order*[1]. This definition allows us to assert that, on the one hand, supplies relate to several management components: organisations and processes, and, on the other hand, organisations, using relationship between them, form a chain and carry out processes to manage flows. In this regard, the point of view of C. Georgi and G. Kaiser deserves attention: «*Defining SCM as the difference of integration/disintegration and not as the difference of movement/non-movement, clearly delimits SCM from logistics: Whereas decisions taken in logistics are concerned with movement, decisions in SCM are concerned with integration. Therefore, logistics and SCM are (or ought to be) two distinct areas of study*» [13].

International sources provide scant information on the classification of flows. Basically, three classifications are used: by the type of resources (material, informational, financial flows, etc.) [8]; according to the direction of movement to a particular enterprise (entry and exit flows) [14]; according to the direction of movement to the final consumer («downstream» and «upstream» flows) [15]. It should be noted that many Russian scientists have made a significant contribution to the study on this issue [16–18].

Several literary sources mention such types of flows as: demand flows [19]; cash flows [20]; capital flows [5]; service flows [21]; cost, value, profit flows and logistic flows [22]; knowledge flows [23; 24]; flows of ideas [25], as well as workforce flows [8].

Flows differ not only in quality, but also in quantity. For example, the sources mention: a flow [26]; two flows [27]; three flows [28]; four flows [25]; five flows [8]. More than six flows are listed by T. Goldsby and R. Martichenko [23]. However, the authors do not always provide sufficient arguments to support these conclusions. A reasonable argument tool, in our opinion, might be substantiation and use of the appropriate classification features to solve the problem stated by the authors.

The problem of efficient flow management is compounded by the fact that flows change

[1] Chain. [Electronic resource]: https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/chain. Last accessed 13.10.2020.

parameters and characteristics in the process of their consolidation and downsizing. In this case, one must deal with the so-called integrated flows, the development sequence of which is presented in [29]. Proceeding from this, the work [30] substantiates the content of a systemic approach to flow management.

The above information regarding flows in supply chains needs to be clarified and supplemented by considering the specifics of objects (values, demands, supplies) and components (enterprises, processes, relationships) of the above concepts of chain management.

The *objectives* of the research are to clarify and supplement the theory and methodology of managing value, demand, products and/or services flows, as well as novelty flows, while introducing and implementing the concepts of managing linearly ordered enterprises or chains.

The importance of value for supply chain management

As a reminder, the American Marketing Association, since 2007, has used the definition of marketing in the following form: «*Marketing is the activity, set of institutions, and processes for creating, communicating, delivering, and exchanging offerings that have value for customers, clients, partners, and society at large*»[2]. The importance of value for supply chain management is emphasised, for example, by D. Sexton: «*the organization's financial success depends on how to manage value-a customer's perception of what they receive and the cost of providing value to the consumer*» [31].

At the same time, it should be borne in mind that value is created not only by the end consumer of products and/or services, but also by their supplier or with participation of a supplier. In this case, we are talking about a new product and/or service. At the same time, as practice shows, not every novelty creates value for the end user and does not pay back the supplier's costs, therefore not every novelty is an innovation.

The *tasks* of the research are to clarify interrelationship of objects, management components, and types of flows; to identify the roles of the consumer and supplier as sources of flows in supply chains; to develop the classification of flows considering the objects of the concepts of chain management; to create a form of a flow map regarding flows in supply chains.

The methods of classification, analysis and synthesis, induction and deduction were chosen as research *methods*, and binary matrices were used as a tool [32]. The peculiarities of using these methods and tools are described in the works of K. D. Bailey [33], J. W. Creswell [34], H. Hameed [35], K. Charmaz [36].

RESULTS

Clarification of relationship of control components and flow types in supply chains

The main components of chain management can be revealed using the following steps: selection from the chain of a channel that includes two links: the supplier and consumer of resources, as well as of the relationship between them; defining the tasks of these links with a focus on creating and delivering value to the consumer (who is a channel link); establishing the correspondence of tasks of links of the channel to a certain control component.

The tasks set out above and the relevant management components are presented in Table 1.

As follows from Table 1, the links of the channel (supplier and consumer) perform four consolidated tasks each, which are interdependent and interrelated. The first tasks concern respectively the supplier and the consumer as economic entities or enterprises. The effectiveness of solving the second tasks depends on the content of the relationship between the supplier and the consumer. The third tasks involve implementation of processes (operations) provided for by the agreements reached between them. Finally, the fourth tasks directly relate to delivery, transfer and receipt of products and/or services, either in the form of their flows or in the form of stocks.

The content of Table 1 allows developing a diagram of interaction of management components shown in Pic. 1.

The model shown in Pic. 1 assumes implementation of a systemic approach to supply chain management, focused simultaneously on four control objects, the main of which are numerous flows with corresponding codes processed by the software product in order to reduce the lost profit of the supply chain links.

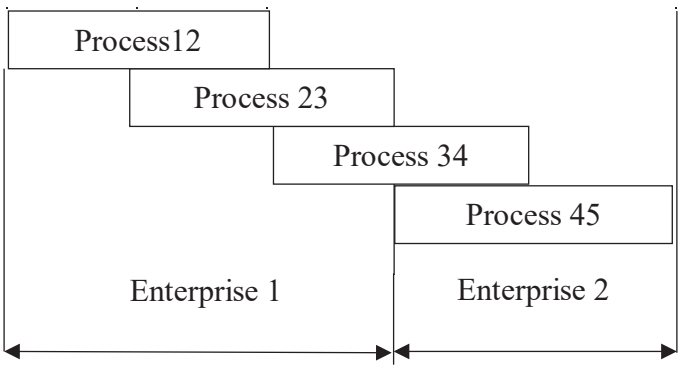
[2] About American Marketing Association. Definition of Marketing. [Electronic resource]: https://www.ama.org/AboutAMA/Pages/Definition-of-Marketing.aspx. Last accessed 29.10.2018.

Table 1

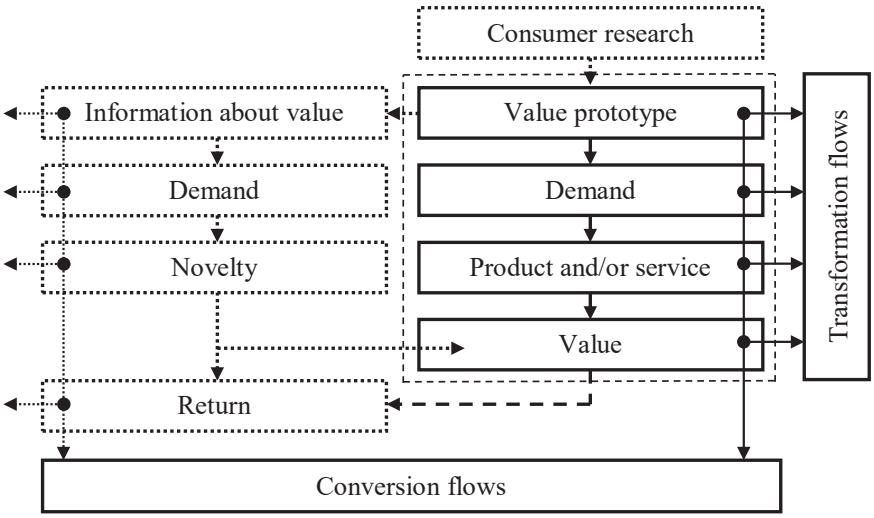
The tasks of the links of the supply chain and relevant management components (developed by the authors)

Supply chain tasks:		Management component
of a Consumer	of a Supplier	
1) Identification of insufficiency of something and determining the way to eliminate it.	1) Survival in a competitive environment due to production of a product and/or provision of a service.	Enterprises
2) Selection of a product and/or service and of their supplier.	2) Attracting consumers of the product and/or service.	Relationship
3) Registration of a demand, expectation and purchase of a product and/or service.	3) Manufacture of a product and/or preparation for provision of a service.	Processes (operations)
4) Receipt of a product and/or service and then of a value.	4) Delivery and transfer of a product and/or provision of a service.	Flow (stock)

Type of a flow (stock)	Code of a flow (stock)	State of an object of a flow (stock)				
		S1	S2	S3	S4	S5
Material (M)	00	**SFX1**	**SFX2**	**SFX3**	**SFX4**	**SFX5**
MF1	000000	M1FX1	M2FX1	M3FX1	M4FX1	M5FX1
ME..	...	...	...	...	...	...
MFK	001111	M1FXK	M2FXK	M3FXK	M4FXK	M5FXK
Information (I)	01					
IF1	010000	I1FX1	I2FX1	I3FX1	I4FX1	I5FX1
IE..	...	...	...	...	...	...
IFL	011111	I1FXL	I2FXL	I3FXL	I4FXL	I5FXL
Financial (F)	10					
FF1	100000	F1FX1	F2FX1	F3FX1	F4FX1	F5FX1
FE..	...	...	...	...	...	...
FFM	101111	F1FXM	F2FXM	F3FXM	F4FXM	F5FXM
Labour (L)	11					
LF1	110000	L1FX1	L2FX1	L3FX1	L4FX1	L5FX1
LE..	...	...	...	...	...	...
LFN	111111	L1FXN	L2FXN	L3FXN	L4FXN	L5FXN



Pic. 1. Scheme of connections of management components (developed by the authors).



Pic. 2. Managed objects and flow types in supply chains (developed by the authors).

This model is based on an object (value, demand, product and/or service) in the form of a flow or stock. At various stages of creation and delivery, this object is characterised by a certain state depending on operations of technological, logistic, and other processes. In Pic. 1, five such states are identified. In addition to the above-mentioned managed object, which is the main one, it is necessary to consider the accompanying managed objects. This status of managed object presupposes allocation of the main and accompanying flows (stocks), which can be material, informational, financial, and labour flows. At the same time, the value for the end user, formed by his perception, feelings, and impressions, can be created by objects of these flows both in aggregate and separately. In Pic. 1, the main flow is the material flow, and the object is the product. When managing this flow, the states of this product (in the form of raw materials, semi-finished products, etc.) are considered. Those states are indicated by the symbols «*SfXi*», where *S* is the state of the main object, *fx* – its parameters and characteristics, *i* – ordinal number of the state of this object. Each state of an object corresponds to a certain number of related objects as part of material, information, financial or labour flows (stocks). For each state of the main managed object, quantity and quality of thee flows can vary. Each of these flows can get a binary code for digital processing and be described by the corresponding parameters and characteristics. Flow codes can be obtained based on binary matrices containing actual classification features describing a specific object and/or flow. The transfer of the main managed object from one state to another is provided based on four processes carried out by a particular enterprise. Pic. 1 indicates that three (13) of four processes are performed by enterprise 1, and the fourth (45) is performed by enterprise 2. Flow management is performed based on the relationship 13–45 between these enterprises.

If the content of Pic. 1 considers only a single changing managed object (in particular, the product), then the content of Pic. 2 relies on the change (transformation) of several objects of chain management (value, demand, product and/or service, as well as novelty chains).

The use of a novelty as of a managed object is due to the well-known fact that «firms offer value propositions, and customers accept these value propositions and cooperate in creating value» with these firms [37–39].

The content of Pic. 2 is based on the phenomenon that the consumer, experiencing insufficiency of something (Table 1), forms a prototype of value, which he further specifies either independently or with involvement of a competent organisation, e.g., the same supplier that studies preferences and behaviour of the consumer himself, and of his prototype of value. After specifying this prototype, the consumer forms a demand, which is formalised as an order, including acquisition of resources, their processing and delivery of the product

Product and/or service Consumption		Form (variant) of value	
		Prototype	
		Consulting	
Form of manifestation of insufficiency at the consumer's side	Sensation	Tester	Communicator
	Elimination	Developer	Researcher
		Design	Creativity

Pic. 3. Roles of consumer and supplier as sources of flows (developed by the authors).

Object (in relation to what?)		Component of flow management system	
		Subject (who?)	
Way to solve the task by the subject	Copy the existing	Skill	Knowledge
	Create the new	Proficiency	Competence

Pic. 4. Classification of consumer and supplier characteristics (developed by the authors).

and/or service to the destination. This product and/or service, in the process of consumption, either creates the value the consumer needs, or is subject to return. In turn, the supplier, having received the necessary information about the prototype of value, also forms demands for its suppliers, and manufactures a product or prepares to provide a service. The product or service in this case may be new to both the consumer and the supplier. This novelty is offered to the consumer and then either creates value or is rejected by the consumer.

In Pic. 2, there are two types of flows: transformation flows that contribute to a change in the state of a particular managed object (Pic. 1), and conversion flows that provide a transition from a managed object to another.

Identifying the roles of consumer and supplier as sources of flows in supply chains

Marketing-based chain management uses the concept of the consumer, or «*The customer concept is the conduct of all marketing activities with the belief that the individual customer is the central unit of analysis and action*» [40]. Consequently, development and movement of flows within the framework of basic concepts of chain management depend on the role played by a given consumer, as well as by a supplier, who has an indirect impact on the value generated by the consumer.

If we consider such classification features as a source of value creation (product and/or service or prototype); form of manifestation of deficiency in the consumer (sensation or elimination), the following roles of the consumer and the supplier can be established: tester, communicator, developer, and researcher (Pic. 3).

From the content of Pic. 3 it follows that each role of a consumer and a supplier provides for implementation of a specific process, starting with consumption as the basis for formation of a prototype of value, then supposing consulting/training, creativity, design, and ending with consumption of a product and/or service and obtaining value. Each role and, accordingly, each process involves the study of parameters and characteristics or some «qualifications» of the consumer and the supplier, which can be described based on such classification features as: a component of a flow management system (an object or a subject), as well as a way of solving a problem by a subject (copying an existing one or creating a new way). These features make it possible to identify four characteristics of a consumer and a supplier: skill, knowledge, proficiency, and competence (Pic. 4).

The role of the researcher assumes, on the one hand, the identification by the consumer of those sensations and impressions that he plans to receive in the process of consumption of the product and/or service, and, on the other hand, identification by the supplier of the customer properties of the given product and/or service, capable of creating these feelings and impressions.

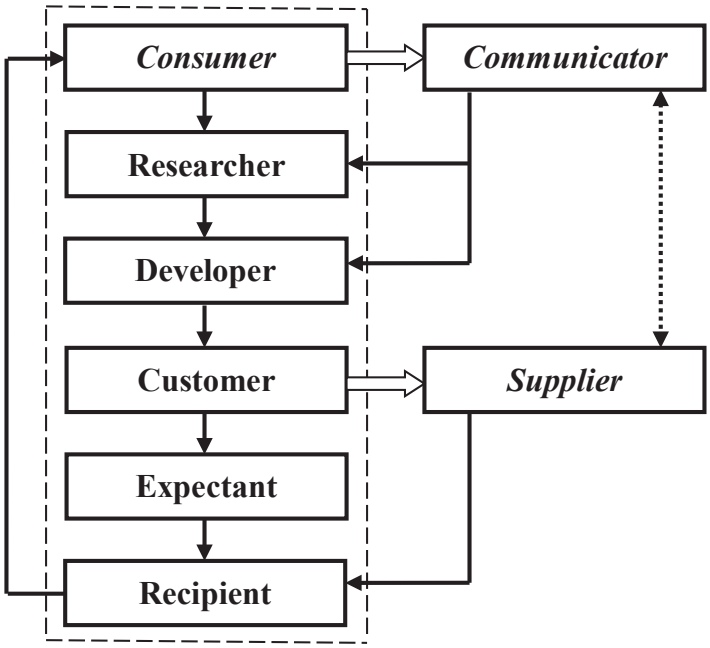
The developer's role, performed by both the consumer and the supplier, is to design and develop a product and/or service capable of creating the required value.

The role of the communicator considers the nature of the relationship and the characteristics

Table 2

Characteristics of roles of the consumer and the supplier as supply chain links (developed by the authors)

Roles of the consumer and the supplier	Characteristics of the consumer and the supplier			
	Skill	Knowledge	Proficiency	Competence
Tester				
Researcher				
Developer				
Communicator				



Pic. 5. The sequence of roles of the consumer and the supplier as links in the supply chain (developed by the authors).

of communication between the consumer and the supplier, as well as with counterparties about creating the required value.

The role of the tester is implemented at the stage of testing the product and/or service by the supplier to assess their compliance with the demands of the end user and their possible revision before shipping to the consumer. Obviously, this role is also played by the consumer, who compares the prototype of the value with sensations and impressions received.

Sharing the content of Pics. 3 and 4 allows giving a preliminary assessment of parameters and characteristics of the consumer and supplier in terms of effectiveness of solving the problems presented in Table 1. It is shown in Table 2.

Among other things, information in Pic. 4 allows developing a sequence (dynamics) of roles of the consumer and the supplier as links in the supply chain (Pic. 5).

As follows from the content of this Pic. 5, besides the consumer's roles shown in Pic. 3, it is possible to add the roles of customer, expectant, and recipient. Moreover, reducing waiting time for order fulfilment is the most important management decision ensuring the supplier's competitiveness. The role of the communicator is played by both the consumer and the supplier. In some cases, this role can be played by a third-party organisation, whose characteristics (Pic. 4) make it possible to exert a decisive influence on the consumer's decision on the parameters and characteristics of products and/or services.

Development of flow classification considering objects of chain control concepts

Using the information in Pic. 2, based on binary matrices, it is possible to determine the

Prototype		Form (variant) of value	
		Product and/or service	
Stages of formation of consumer's value	Creation	Flow of images (Im)	Flow of sensations (Sens)
	Analysis and evaluation	Flow of thoughts (Th)	Flow of impressions (Impr)

Pic. 6. Classification of flows of value (developed by the authors).

Previous (future consumer)		Place of the enterprise in the supply chain	
		Subsequent (future supplier)	
Operations with value prototype	Agreement	Flow of requests (Req)	Flow of offerings (Of)
	Preparation for implementation	Flow of tasks (claims) (Cl)	Flow of orders (Ord)

Pic. 7. Classification of demand flows (developed by the authors).

Not new		Novelty of the management situation	
		New	
Uniqueness of the approach to management	Unique	Experience flow (Expce)	Intuition flow (In)
	Proven	Flow of calculations (Calc)	Flow of experiments (Expment)

Pic. 8. Classification of flows of new products, formed by the consumer (developed by the authors).

main types of flows that gravitate towards one or another object of the chain management concept.

To determine the options for flows while managing value chains, it is proposed to use the following classification features: form (variant) of value (product and/or service or prototype); stages of customer value formation (creation or analysis and evaluation). As a result of using these features, it is possible to supplement the existing classification of flows with such flows as: flow of images, flow of thoughts, flow of sensations and flow of impressions (Pic. 6).

To determine the options for flows in demand chain management, it is proposed to use the following classification features: the place of the enterprise in the supply chain (previous as of future consumer of value or subsequent as of future supplier of value); operations with the prototype of customer value (agreeing on/ preparing for implementation). As a result of using these characteristics, it is possible to supplement the existing classification of flows with such flows as: flow of requests, flow of tasks (claims), flow of proposals and flow of orders (Pic. 7).

To determine the flow options when managing novelty (chains of new products), it should be borne in mind that these new products are created by both the consumer and the supplier. When they interact, flows of new products are formed by the consumer and the supplier, respectively. To determine the options for flows generated by the consumer, it is proposed to use the following classification features:

- Degree of novelty of the management situation: not new (known) situation or new (unknown) situation.
- Uniqueness of the approach to managing novelties: unique or proven approach.

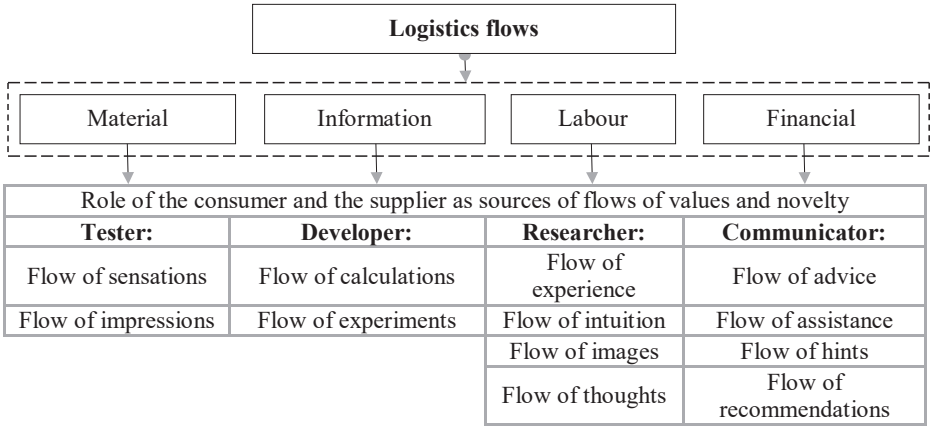
As a result of using these features, it is possible to supplement the existing classification of flows with such flows as:

- Experience flow.
- Intuition flow.
- Flow of calculations.
- Flow of experiments (Pic. 8).

As follows from the content of Pic. 8, flow, as an object of logistics research, goes beyond the basic concepts of managing economic objects and can be an object of research in marketing when studying consumer behaviour, in sociology when studying organisational culture and conflicts, in anthropology when studying norms, values and positions, in psychology when studying a person at large, etc. This aspect of the study significantly

Consultation		Variant of support of prototype of supplier's value	
		Support	
Uniqueness of the approach to management	Unique	Flow of advice (Adv)	Flow of assistance (Assist)
	Proven	Flow of hints (Hints)	Flow of recommendations (Recom)

Pic. 9. Classification of flows of new products, formed by the supplier (developed by the authors).



Role of the consumer and the supplier as sources of flows of values and novelty			
Tester:	**Developer:**	**Researcher:**	**Communicator:**
Flow of sensations	Flow of calculations	Flow of experience	Flow of advice
Flow of impressions	Flow of experiments	Flow of intuition	Flow of assistance
		Flow of images	Flow of hints
		Flow of thoughts	Flow of recommendations

Pic. 10. Main types of roles of the consumer and the supplier as well as flows of values and new products (developed by the authors).

Direct		Nature of connection of a flow object with value	
		Indirect	
Function of a flow object in relation to value	Creation	Flow of products (Pr)	Flow of vehicles (V)
	Accompanying	Flow of containers (packages) (Pack)	Flow of loading-unloading equipment (HAND)

Pic. 11. Classification of flows of main (products) and auxiliary objects (developed by the authors).

expands the capacity of logistics beyond the traditional economy and management.

To determine the options for flows generated by the supplier, it is proposed to use the following classification features: the option of supporting the value flow by the supplier or consultation and support; uniqueness of the approach to managing novelties (unique or proven). As a result of using these features, it is possible to supplement the existing classification of flows with advice flow.

Sharing of Pics. 3, 6, 8, and 9 allows us to refine the classification of the proposed flows depending on the role of the consumer and the supplier (Pic. 10).

Flows of values and flows of new products are informational (except for layouts, models, etc., which can be attributed to material flows), and people are their generating and absorbing points. Since not only its direct consumer, but also the supplier could be developer, researcher, communicator and even the consumer of the value, then the flows shown in Pics. 6, 8 and 9 are typical for the supplier as well.

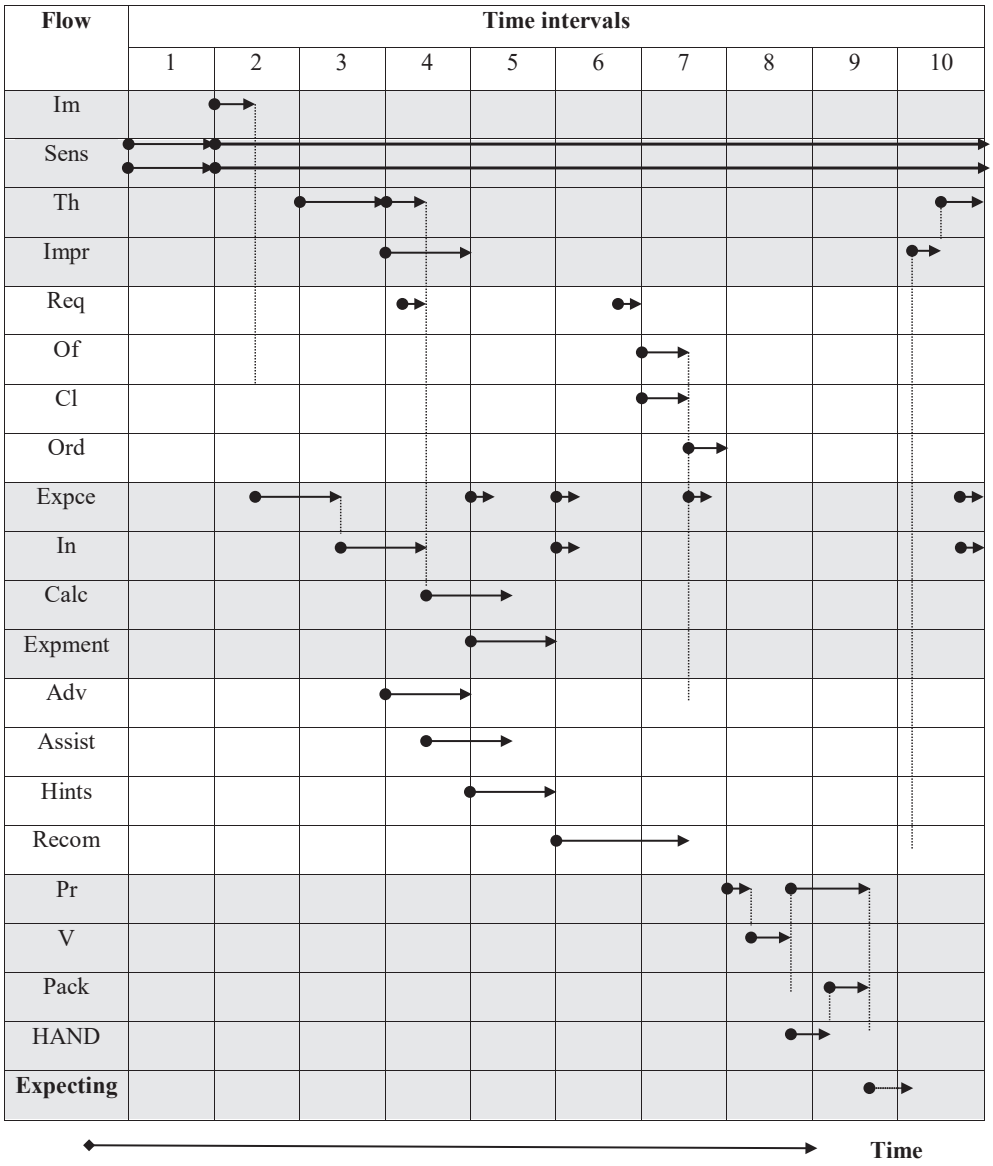
To determine the options for flows in managing the flows of products and/or services, it is proposed to use the following qualification features: the nature of the relationship between the flow object and the value of the consumer (direct or indirect (accompanying) relationship); function of the flow object in relation to value (creation or maintenance of value). As a result of using these features, it is possible to identify such flows as: flow of products, flow of containers (packages), flow of vehicles and flow of handling equipment (Pic. 11).

Development of a flow map in supply chains

The above material allows us to develop a flow map in supply chains (Table 3). The content of Table 3 allows us to draw the

Table 3

Example of a flow map of values, new products, demands, products and/or services (developed by the authors)



following conclusions. Time of movement of the flow is divided into several intervals. Table 3 shows ten intervals. Flows move sequentially and in parallel, depending on the specifics of the tasks solved by the consumer and the supplier. The initial and most important flow is the flow of consumer sensations associated with the lack of something. Moreover, this deficiency can be felt to varying degrees. The main reserve for creating additional value for the consumer is to reduce the interval of his waiting time from ordering products and/or services to receiving value. Besides, an additional reserve here is an earlier understanding of the prototype of customer value and operational management of flows presented in Pic. 10.

Presented in Table 3, flow map of flows of value, new products, demand, products and/or services is the basis for implementation of a process approach to supply chain management and differs from traditional maps of business processes since, on the one hand, it takes into account the values of end users of

products and/or services, and on the other hand, it assumes that for each flow one should select specific systems and specific processes necessary to control this flow, focusing on the data in Pic. 1.

CONCLUSIONS

Within the framework of this study, the following results were obtained, which have signs of research novelty: the relationship of management components and types of flows in supply chains (Table 1, Pics. 1 and 2); the role of consumer and supplier as sources of these flows (Pics. 3 and 5); classification of flows considering the objects of chain management (Pics. 6–9; 11); form of a flow map in supply chains (Table 3).

The above results, during further research, will make it possible to clarify and supplement the relationship of supply chain management and management of value chains and requirements based on a systemic approach; to develop practical recommendations to reduce lost profits when managing flows in supply chains; to create prerequisites for more efficient value creation and delivery.

Based on the results obtained, it is planned to further clarify the essence and content of the chain management concept at large; to supplement the provisions of the theory and methodology of chain management in terms of design, formation and optimisation of the main objects and management components of this type; to develop guidelines for improving the efficiency of the chain management system, considering the features of their activity at regional and sectoral levels.

REFERENCES

1. Oliver, R. K., Weber, M. D. Supply-chain management: Logistics catches up with a strategy. In M. L. Christopher (Ed.). Logistics: The strategic issues. London, Chapman & Hall, 1982, pp. 63–75. [Electronic resource]: https://www.worldcat.org/title/logistics-the-strategic-issues/oclc/24700740. Last accessed 26.02.2021.

2. Schiele, H. Purchasing and Supply Management. Eds.: Zijm, H., Klumpp, M., Regattieri, A., Heragu, S. Operations, Logistics and Supply Chain Management. Springer International Publishing, 2019. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/327320611_Purchasing_and_Supply_Management/link/5cc6d496299bf1209787a605/download. Last accessed 26.02.2021.

3. Bogaschewsky, R. Integrated Supply Management: Zukunftskonzeptfür die Beschaffung. In: Bogaschewsky, R. (Hrsg.). Integrated Supply Management: Einkauf und Beschaffung. Köln, 2003, pp. 23–52. [Electronic resource]: https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Integrated%20Supply%20Management%20%E2%80%94%20Zukunftskonzept%20f%C3%BCr%20die%20Beschaffung&author=R.%20Bogaschewsky&pages=23-52&publication_year=2003. Last accessed 26.02.2021.

4. Wolters, T., James, P., Bouman, M. Stepping-stones for integrated chain management in the firm. *Business Strategy and the Environment*, 1997, Vol. 6, pp. 121–132. [Electronic resource]: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/%28SICI%291099-0836%28199707%296%3A3%3C121%3A%3AAID-BSE107%3E3.0.CO%3B2-C https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0836(199707)6:3<121:: AID-BSE107>3.0.CO;2-C. Last accessed 26.02.2021.

5. Seuring, S., Muller, M. From a Literature Review to a Conceptual Framework for Sustainable Supply Chain Management. *Journal of Cleaner Production*, 2008, Vol. 16 (15), pp. 1699–1710. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/223590572_From_a_Literature_Review_to_a_Conceptual_Framework_for_Sustainable_Supply_Chain_Management. DOI:10.1016/j.jclepro.2008.04.020. Last accessed 26.02.2021.

6. APICS. Association for Operations Management. APICS Dictionary. Thirteenth edition, 2010. [Electronic resource]: http://www.apics.org/apics-for-individuals/publications-and-research/apics-dictionary. Last accessed 26.02.2021.

7. Rainbird, M. Demand and supply chains: the value catalyst. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 2004, Vol. 34 (3/4), pp. 230–250. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/235275195_Demand_and_supply_chains_The_value_catalyst. DOI: 10.1108/09600030410533565. Last accessed 26.02.2021.

8. Forrester, J. W. Industrial dynamics: A major breakthrough for decision makers. *Harvard Business Review*, 1958, Vol. 38, pp. 37–66. [Electronic resource]: https://kupdf.net/download/industrial-dynamics-a-major-breakthrough-for-decision-makers_5902479bdc0d603940959ed5_pdf. Last accessed 26.02.2021.

9. Ramsey, J. G. The real meaning of value in trading relationships. *International Journal of Operations & Production Management*, 2005, Vol. 25 (2), pp. 549–565.

10. Hull, B. Are supply (driven) chains forgotten? *International Journal of Logistics Management*, 2005, Vol. 16 (2), pp. 218–236. [Electronic resource]: https://ru.scribd.com/document/82413729/The-Real-Meaning-of-Value. Last accessed 26.02.2021.

11. Harland, C. M. Supply Chain Management: Relationships, Chains and Networks. *British Journal of Management*, 1996, Vol. 7, Special Issue, pp. 63–80.

12. Ozhegov, S. I., Shvedova, N. Yu. Explanatory Dictionary of the Russian Language [*Tolkoviy slovar russkogo yazyka*]. Moscow, Azbukovnik publ., 1998, 944 p. [Electronic resource]: https://ru.scribd.com/document/82413729/The-Real-Meaning-of-Value. DOI: 10.1111 / j.1467-8551.1996.tb00148.x. Last accessed 26.02.2021.

13. Georgi, C., Kaiser, G. A taxonomy of Supply Chain Management functions? A systemic-constructivist perspective on Logistics vs. SCM, 14th International Symposium on Logistics «Global supply chains and inter-firm networks», Istanbul, Turkey, 5–8 July, 2009, pp. 15–23. [Electronic resource]: http://www.isl21.org/wp-content/uploads/pdf/14thISLProceedings-Istanbul-Turkey.pdf. Last accessed 26.02.2021.

14. Gundlach, G. T., Bolumole, Y. A., Eltantawy, R. A., Frankel, R. The changing landscape of supply chain management, marketing channels of distribution, logistics and purchasing. *Journal of Business and Industrial Marketing*, 2006, Vol. 21, Iss. 7, pp. 428–438. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/241708510_The_changing_landscape_of_

supply_chain_management_marketing_channels_of_distribution_logistics_and_purchasing. DOI: 10.1108/08858620610708911. Last accessed 26.02.2021.

15. Waters, D. Global Logistics and Distribution Planning–Strategies for Management. Kogan Page Limited, London, 2003. [Electronic resource]: https://pdfslide.net/documents/global-logistics-and-distribution-planning-strategies-for-management.html. Last accessed 26.02.2021.

16. Novikov, O. A., Uvarov, S. A. Logistics [*Logistika*]. St. Petersburg, Publishing house «Business Press», 2000, 208 p.

17. Gadzhinsky, A. M. Logistics: Textbook [*Logistika: Uhebnik*]. Moscow, Information and implementation centre «Marketing», 1998, 228 p.

18. Sergeev, V. I. Management in business logistics [*Menedzhment v biznes-logistike*]. Moscow, Information and Publishing House «Filin», 1997, 772 p.

19. Ayers, J. B., Odegaard, M. A. Retail supply chain management. Auerbach Publications Taylor and Francis Group, 2008. [Electronic resource]: https://www.academia.edu/28168413/Retail_Supply_Chain_Management. Last accessed 26.02.2021.

20. Chopra, S., Meindl, P. Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation. Hoboken, NJ: Prentice Hall, 2010. [Electronic resource]: https://base-logistique-services.com/storage/app/media/Chopra_Meindl_SCM.pdf. Last accessed 26.02.2021.

21. Blackhurst, J., Cantor, D., O'Donnell, M. Sustainable Supply Chains: A Guide for Small – to Medium-sized Manufacturers, 2012. [Electronic resource]: https://www.hbs.edu/faculty/conferences/2015-strategy-research/Documents/Sustainable%20Supply%20Chains.pdf. Last accessed 26.02.2021.

22. Mahadevan, B. Business models for internet-based e-commerce: an anatomy. *California Management Review*, 2000, Vol. 42 (4), pp. 55–69. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/228718351_Business_Models_for_Internet-Based_E-Commerce_An_Anatomy. DOI: 10.2307/41166053. Last accessed 26.02.2021.

23. Goldsby, T., Martichenko, R. Lean six sigma Logistics. Strategic Development to Operational Success. J. Ross Publishing, Inc., U.S.A., 2005. [Electronic resource]: https://mynotesonsystemicthinking.files.wordpress.com/2011/02/lean-six-sigma-logistics.pdf. Last accessed 26.02.2021.

24. Ayers, J. B. Handbook of Supply Chain Management. 2nd ed. Boca Raton: Auerbach Publications, 2006. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/268372315_Handbook_of_Supply_Chain_Management. Last accessed 26.02.2021.

25. Sheffi, Y., Klaus, P. Logistics at Large: Jumping the Barriers of the Logistics Function. Council of Logistics Management Educators' Conference Chicago, IL, 1997. [Electronic resource]: http://web.mit.edu/sheffi/www/documents/CLM-Logistics%20at%20Large.pdf. Last accessed 26.02.2021.

26. Waters, C. D. J. Supply chain management: An introduction to logistics. New York: Palgrave Macmillan, 2009. [Electronic resource]: http://bookfi.net/book/466312. Last accessed 26.02.2021.

27. Harrison, A., van Hoek, R. Logistics Management and Strategy Competing through the supply chain. 3rd edition. Prentice Hall. Pearson Education Limited, 2008. [Electronic resource]: https://vulms.vu.edu.pk/Courses/MGMT615/Downloads/Logistics%20Management%20and%20Strategy%20Competing%20Through%20the%20Supply%20Chain.pdf. Last accessed 26.02.2021.

28. Frazelle, E. Supply Chain Strategy. The Logistics of Supply Chain Management. McGraw-Hill Companies, 2002. [Electronic resource]: https://www.pdfdrive.com/supply-chain-strategy-the-logistics-of-supply-chain-management-e189929552.html. Last accessed 26.02.2021.

29. Tyapukhin, A. P. Substantiation of the sequence of formation of integrated flows of material resources [*Obosnovanie posledovatelnosti formirovaniya integrirovannykh potokov materialnykh resursov*]. *Logistika*, 2017, Iss. 8 (129), pp. 46–51. [Electronic resource]: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29911926. Last accessed 26.02.2021.

30. Tyapukhin, A. P., Khaitbaev, V. A. A systemic approach to the management of resource flows [*Sistemniy podkhod k upravleniyu potokami resursov*]. *Logistika*, 2016, Iss. 11 (120), pp. 48–54. [Electronic resource]: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27450397. Last accessed 26.02.2021.

31. Sexton, D. Maximizing the value of a business: Using the right metrics. *Business and Economics Journal*, 2014, Vol. 5 (1). [Electronic resource]: https://www.hilarispublisher.com/open-access/maximizing-the-value-of-a-business-using-the-right-metrics-2151-6219-5-e102.pdf. DOI: 10.4172/2151-6219.1000e102/. Last accessed 26.02.2021.

32. Warfield, J. N. Binary Matrices in System Modeling. *Transactions on systems, man, and cybernetics*, 1973, Vol. 3 (5), pp. 441–449. [Electronic resource]: https://systemsconcept.org/html/Content/BM_1973%20.pdf. DOI: 10.1109/TSMC.1973.4309270. Last accessed 26.02.2021.

33. Bailey, K. D. Typologies and taxonomies: An introduction to classification techniques. London: Sage Publications, Inc., 1994. [Electronic resource]: http://www.bookre.org/reader?file=677240. Last accessed 26.02.2021.

34. Creswell, J. W. Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. 4th ed. USA: SAGE Publications, Inc., 2014. [Electronic resource]: https://www.pdfdrive.com/john-w-creswell-research-design_-qualitative-quantitative-and-mixed-methods-approaches-e24960021.html. Last accessed 26.02.2021.

35. Hameed, H. Quantitative and qualitative research methods: Considerations and issues in qualitative research. Preprint, 2020. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/342491265_Quantitative_and_qualitative_research_methods_Considerations_and_issues_in_qualitative_research/link/5ef6c13b92851c52d60064b5/download. Last accessed 09.01. 2021.

36. Charmaz, K. Constructing Grounded Theory: A Practical Guide Through Qualitative Analysis. London, Thousand Oaks, New Delhi, SAGE Publications Ltd., 2006. [Electronic resource]: http://www.sxf.uevora.pt/wp-content/uploads/2013/03/Charmaz_2006.pdf. Last accessed 26.02.2021.

37. Loanne, S. S., Webster, C. M. Consumer-to-consumer value within social networks. *The Marketing Review*, 2014, Vol. 14, No. 4, pp. 447–462. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/272385518_Consumer-to-consumer_value_within_social_networks. DOI: 10.1362/146934714X14185702841442. Last accessed 26.02.2021.

38. Vargo, S.L., Lusch, R.F. Evolving to a New Dominant Logic for Marketing. *Journal of Marketing*, 2004, Vol. 68 (1), pp. 1–17. DOI: 10.1509/jmkg.68.1.1.24036.

39. Vargo, S.L., Lusch, R.F. Service-dominent logic: continuing the evolution. *Journal of the Academy of Marketing Scie*nce, 2008, Vol. 36 (1), pp. 1–10. DOI: 10.1007/ s11747-007-0069-6.38.

40. Kumar, V., Reinartz, W. Customer Relationship Management. Concept, Strategy and Tools. Third Edition. Springer-Verlag GmbH, Germany, 2018, XXV, 411 p. ISBN 97 8-3-662-55380-0. eBook ISBN 97 8-3-662-55381-7. ●

Acknowledgements. The article was prepared within the framework of publicly funded research assigned by the Ministry of Education and Science of Russia to the Institute of Economics of Ural Branch of Russian Academy of Sciences for 2021.



65 ЛЕТ ОРГАНИЗАЦИИ СОТРУДНИЧЕСТВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

В 2021 году Организация сотрудничества железных дорог отмечает 65 лет с даты своего основания.

В июне 1956 года в Софии на совещании министров, ведающих железнодорожным транспортом, представлявших 10 государств, было принято единогласное решение о создании ОСЖД.

В настоящее время в рядах организации 29 стран. Их площадь составляет 37,5 млн кв. км, а население – более 2 млрд человек. Шесть железных дорог обладают статусом наблюдателей, а более 40 компаний, организаций, университетов, деятельность которых связана с железнодорожным транспортом, – статусом присоединённых предприятий.

Эксплуатационная длина железнодорожных линий стран – членов ОСЖД достигает 336 тыс. км, по ним ежегодно перевозится более 5,6 млрд пассажиров и 5,5 млрд тонн грузов.

Высшим руководящим органом ОСЖД является Совещание Министров.

Руководящим органом ОСЖД на уровне железных дорог и железнодорожных предприятий является Конференция Генеральных директоров (ответственных представителей) железных дорог ОСЖД (КГД).

Комитет ОСЖД расположен в Варшаве.

В числе основных направлений деятельности ОСЖД:

– развитие международных железнодорожных перевозок между странами Европы и Азии, включая комбинированные перевозки;

– сотрудничество по проблемам, связанным с транспортной политикой,





правовыми и экологическими аспектами железнодорожного транспорта;

– ведение Соглашения о международном пассажирском сообщении (СМПС), Соглашения о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС), Договора о Правилах пользования грузовыми вагонами в международном сообщении (ПГВ), Договора о Правилах пользования пассажирскими вагонами в международном сообщении (ППВ), Договора о Международном железнодорожном пассажирском тарифе (МПТ), Договора о Едином транзитном тарифе (ЕТТ), Договора о Международном железнодорожном транзитном тарифе (МТТ), Договора о Правилах о расчётах в международном пассажирском и грузовом железнодорожном сообщении и других правовых и нормативно-технических документов, связанных с международными перевозками;

– формирование общих принципов единого международного транспортного права в области железнодорожного транспорта;

– разработка мероприятий по повышению конкурентоспособности железных дорог по сравнению с другими видами транспорта;

– развитие сотрудничества по совершенствованию правил эксплуатации и технических условий и модернизации линий, на которых осуществляются международные перевозки;

– содействие в решении различных проблем международного сотрудничества железных дорог ОСЖД;

– сотрудничество с другими международными организациями, занимающимися вопросами железнодорожного транспорта и комбинированных перевозок. ●



OSJD: 65 YEARS

The year 2021 marks the 65th anniversary of the foundation of the Organisation for Co-Operation between Railways (OSJD).

In June 1956 in Sofia the Conference of Ministers in charge of railway transport, representing 10 states took a unanimous decision to establish the Organisation for Co-Operation between Railways (OSJD).

The number of OSJD member countries has nowadays increased to 29 with the total area of almost 37,5 million square km and a population of more than 2 billion people. 6 railways are granted the observer status, while about 40 companies, organisations, and universities, engaged in rail activity, have the status of affiliated enterprises.

The operating length of railway network of the OSJD member countries is about 336 thousand km, allowing to carry annually almost 5,5 billion passengers and 5,5 billion tons of goods.

The highest OSJD governing body is the Ministerial Conference. The OSJD governing body at the level of railways and railway enterprises is Conference of General Directors (Authorised Representatives) of OSJD Railways.

The OSJD Committee has the HQ in Warsaw.

Major OSJD activities comprise:

– Development and enhancement of international railway transit, particularly combined transportation, between Europe and Asia.







– Cooperation on the problems related to transport policy, legal and environmental aspects of railway transportation.

– Administration of the Agreement concerning International Passenger Traffic (SMPS), Agreement concerning International Goods Transport by Rail (SMGS), Agreement on the Rules for the Use of Freight Wagons in International Traffic (PGW), the Agreement on the Rules for the Use of Passenger Wagons in International Traffic (PPW), Agreement on International Railway Passenger Tariff (MPT), Agreement on the Single Transit Tariff (ETT), Agreement on the International Railway Transit Tariff (MTT), Agreement on the Rules for Accounting in International Passenger and Freight Railway Traffic, and other legal and regulatory documents related to the international railway transportation.

– Development of general principles of single international transport law in the field of railway transportation.

– Development of measures to increase the competitiveness of railways in comparison with other modes of transport.

– Development of cooperation to improve operating rules and technical conditions and modernise the railways servicing international traffic.

– Assistance in promoting issues of international cooperation of the OSJD railways.

– Cooperation with other international organisations dealing with railway transport and combined traffic. ●

ОСТАНОВКИ ПОЕЗДОВ 136

Их влияние на расписание и график движения.

КТГ 156

Перевозка крупногабаритных и тяжеловесных грузов: примеры и обобщения.



КОНТЕЙНЕРИЗАЦИЯ 174

Маршрутные поезда и размещение контейнеров для погрузки и разгрузки по маршруту следования.

ВСМ 194

Не только масштабы, но и новые технологии.

ОБЩЕСТВЕННЫЙ ТРАНСПОРТ 210

Дублирование маршрутов: как рассчитать и что делать.

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ • ADMINISTRATION, MANAGEMENT AND CONTROL

STATION STOPS 146

The impact on timetable and schedule compliance.

HEAVY AND OVERSIZED CARGO 165

Transportation of heavy and oversized cargo: examples and general conclusions.

CONTAINERISATION 184

Block trains and placement of containers intended for en route loading and unloading.

HSR 202

Expansion and new technology.



PUBLIC TRANSIT 220

Route duplication: how to calculate the factors and what to do?

УДК 656.224:656.222.4
DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-1-136-155

Анализ влияния количества остановок пассажирских и пригородных поездов на выполнение графика их движения



Мехедова Евгения Александровна *— Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта, Москва, Россия*.*

Евгения МЕХЕДОВА

Одной из основных задач работников железнодорожного транспорта является безусловное выполнение графика движения пассажирских и пригородных поездов. Однако, это невозможно вследствие действия различных причин – фактической надёжности технических средств, природных и других факторов. В разных компаниях существуют различные нормативы и практика нормирования и мониторинга выполнения показателей.

Целью исследования являлось выяснение степени влияния фактора «число остановок поездов на маршруте» на уровень выполнения графика движения пассажирских и пригородных поездов.

Для апробации и расчётов предлагаемой модели использовался пример ОАО «РЖД».

В ОАО «РЖД» показатели выполнения расписаний нормируются исходя из принципа «от достигнутого уровня». Это не обеспечивает учёта объективных условий организации эксплуатационной работы на различных железных дорогах. Кроме того, в качестве основных условий предлагается учитывать: уровень использования пропускной способности, техническое состояние инфраструктуры и подвижного состава и др., однако при этом не рассматривается фактор количества предусмотренных в графике движения остановок пассажирских или пригородных поездов в пути следования. Чем больше количество остановок, тем большее влияние, при отсутствии возможности нагона расписания, оказывает этот фактор на уровень выполнения графика движения. В свою очередь, возможности нагона расписаний в пассажирском движении при длинных маршрутах следования выше, чем в пригородном движении при коротких маршрутах.

Количество остановок поездов существенно различается по железным дорогам, что говорит о неодинаковых условиях их работы по данному фактору.

Определено численное значение указанного фактора, а также значения (отдельно для пассажирских и пригородных поездов) доли опоздавших поездов: по отправлению – $\alpha_{от}$; по прибытии на промежуточные пункты маршрута – $\alpha_{по}$; по прибытии на конечные пункты – $\alpha_{пр}$. На основании этих данных установлены параметры, позволяющие определить связь между количеством остановок поездов – e и изменением доли опаздывающих поездов. Методами математической статистики установлено незначительное влияние параметра e на значения $\alpha_{от}$, $\alpha_{по}$ и $\alpha_{пр}$. Показано, что на уровень выполнения расписаний пассажирских и пригородных поездов существенное влияние оказывают условия их следования уже после отправления с начальной станции и особенно возможность нагона после возможных задержек в пути следования. При этом следует учитывать совмещённую организацию пассажирского и грузового движения на большинстве линий сети. Предложено оптимизировать количество нормируемых показателей с учётом их сокращения.

Ключевые слова: транспорт, железная дорога, график движения пассажирских и пригородных поездов, нормирование, учёт и анализ выполнения графика движения, факторы, влияющие на выполнение графика движения поездов.

---

*Информация об авторе:
Мехедова Евгения Александровна – ведущий технолог Научного центра «Цифровые модели перевозок и технологии энергосбережения» (НЦ «ЦМПЭ») АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Москва, Россия, ✉ mekhedova.evgeniya@vniizht.ru.

Статья поступила в редакцию 07.10.2020, актуализирована 22.01.2021, принята к публикации 03.02.2021.

For the English text of the article please see p. 146.

ВВЕДЕНИЕ

Точное выполнение графика движения пассажирских и пригородных поездов является одним из важнейших условий оценки качества работы железнодорожного транспорта во всех странах, где реализовано железнодорожное движение (в некоторых из них, например, в Великобритании, анализ выполнения графика находится в публичном доступе[1]). Это в полной мере относится и к системе железнодорожного транспорта Российской Федерации, обладающей одной из самых протяжённых сетей.

В этой связи вопросам выполнения графика движения пассажирских и пригородных поездов уделяется достаточно большое внимание в научной литературе многих стран, а также в представляемых на защиту магистерских и докторских диссертациях. В задачу данного исследования не входило проведение сравнительного анализа используемых на различных железнодорожных сетях параметров и методов, однако нельзя не отметить многоплановость ведущегося научного поиска. Так, наряду с комплексным рассмотрением влияния [1–4], детальному анализу подвергаются и отдельные проблемы, например, влияния многоплатформенных станций [5], содержания инфраструктуры [6–8]. Нельзя не отметить подходы к изучению вопросов общего расстояния маршрута на выполнение расписания (например, автор [4, с. 77] предполагает наличие корреляции в 3 % на каждые 100 км). Особого внимания в свете заявленной темы заслуживают работы, посвящённые рассмотрению аспектов выполнения расписания на национальной сети ряда стран [1; 9–10].

В России выполнение графика движения регулируют нормативные акты[2]. Значительное внимание данному вопросу уделяется при подготовке персонала железных дорог (например, [11]).

Нарушение расписаний пассажирских и пригородных поездов нередко является критичным для пассажиров[3]. Например, при следовании на работу или к месту деловой встречи, при пересадке на другой вид транспорта и в других случаях. Практически все опоздания вызывают у пользователей чувство неудовлетворённости, что оказывает влияние на индекс удовлетворённости пассажиров качеством услуг железнодорожного транспорта[4].

Работники железных дорог должны стремиться к тому, чтобы нормативный график движения пассажирских и пригородных поездов выполнялся на 100 %. Однако по ряду объективных причин достигнуть этого за длительный период и для всех поездов не представляется возможным. Среди таких причин: фактическая надёжность технических средств – локомотивов, вагонов, пути, средств управления; природные факторы – погодные условия, природные аномалии; техногенные аномалии; особая технологическая необходимость – посадка и высадка на промежуточных станциях медицинских работников, больных; пропуск приоритетных поездов – пожарных, восстановительных; человеческий фактор. Поэтому при нормировании, учёте и анализе выполнения графика пассажирских и пригородных поездов необходимо правильно оценивать допущенные отступления от нормативных расписаний.

В ОАО «РЖД» для учёта и нормирования выполнения расписаний в пассажирских перевозках в числе других используются показатели, отражающие возможные отклонения пассажирских и пригородных поездов от расписаний при их следовании между конечными станциями отправления и прибытия:

• уровень выполнения расписаний пассажирских поездов по станциям посад-

[1] The Rail Delivery Group (RDG). [Электронный ресурс]: https://www.raildeliverygroup.com/punctuality.html. Доступ 15.01.2021.

[2] Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации, утверждённые Приказом Минтранса России от 21 декабря 2010 г. № 286. [Электронный ресурс]: https://base.garant.ru/55170488/. Доступ 15.01.2021.

[3] Программа повышения качества транспортного обслуживания пассажиров в 2017–2019 гг., утверждённая распоряжением ОАО «РЖД» от 24 марта 2017 г. № 543р. [Электронный ресурс]: https://docs.cntd.ru/document/456076255?marker=6560IO. Доступ 15.01.2021.

[4] Единая методика оценки уровня удовлетворённости пассажиров качеством услуг железнодорожного транспорта, утверждённая распоряжением ОАО «РЖД» от 7 февраля 2018 г. № 227/р. [Электронный ресурс]: https://urizdat.ru/books/zheleznodorozhnyy-transport/infrastruktura-obschie-polozheniya-cdi/edinaya-metodika-ocenki-urovnya-udovletvorennosti-passazhirov-kachestvom-uslug-zheleznodorozhnogo-transporta.-utverzhdena-rasporyazheniem-oao-rzhd-ot-07.02.2018-227-r.html. Доступ 15.01.2021.

ки (высадки) пассажиров в пути следования – $\gamma_{пв}^{пасс}$;

• уровень выполнения расписаний по прибытии пригородных поездов на промежуточные станции – $\gamma_{пв}^{приг}$.

Эти, как и другие показатели, в настоящее время нормируются исходя из принципа «от достигнутого уровня», что не позволяет при нормировании заданий на предстоящие периоды учитывать объективные условия эксплуатационной работы на железных дорогах. Разработана [12] методика учёта и нормирования показателей выполнения расписаний в пассажирском и пригородном движении по железным дорогам и сети в целом на основе действия ряда факторов, объективно влияющих на продвижение поездов по маршрутам их следования.

Такими факторами, согласно [12] являются:

• уровень использования наличной пропускной способности участков (кроме малодеятельных), а также степень сгущения поездопотоков;

• техническое состояние инфраструктуры и подвижного состава, определяемое по доле случаев отказов технических средств (влияющих на выполнение графиков движения), приходящейся на 1 млн поездо-км, выполняемых на отдельной железной дороге;

• суммарная продолжительность суточного бюджета времени на железных дорогах, выделяемого для плановых ремонтно-строительных работ[5], отнесённая к эксплуатационной длине железных дорог;

• уровень технологической дисциплины, принимаемый одинаковым для всех железных дорог.

В то же время можно предположить, что для количественной оценки показателей $\gamma_{пв}^{пасс}$ и $\gamma_{пв}^{приг}$ важное значение может иметь фактор фактического количества остановок поездов в пути следования.

Целью исследования являлось выяснение степени влияния фактора «число остановок поездов на маршруте» на уровень выполнения графика движения пассажирских и пригородных поездов.

[5] Инструкция по расчёту наличной пропускной способности железных дорог. – М.: Техинформ, 2010. – 289 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Рассмотрим случай, когда, например, пассажирский поезд имеет семь остановок по маршруту следования. Если задержка произошла на первой остановке, и нет возможности «нагона» расписания на остальном маршруте, то в статистических отчётных данных для показателя $\gamma_{пв}^{пасс}$ будет зафиксировано и семь случаев отклонений от расписаний. Если же поезд имеет одну остановку при следовании от станции отправления до станции назначения, то одно опоздание в пути следования не увеличит количество статистических случаев отклонений от расписания.

Имеет значение и условие возможности «нагона» опоздания пассажирских и пригородных поездов[6]. У пассажирских поездов маршрут следования существенно длиннее, чем у пригородных. Следовательно, и возможности «нагона» расписаний значительно выше. Поэтому возможно ожидать меньшего влияния опозданий в пассажирском движении на уровень выполнения рассматриваемого показателя, чем в пригородном. Соответственно, эти виды движения – пассажирское и пригородное – при изучении статистических данных следует рассматривать отдельно.

Как показал анализ, количество остановок пассажирских поездов для посадки и высадки пассажиров существенно различается по железным дорогам. Конечно, на величину этого показателя оказывают влияние протяжённость железных дорог, количество пассажирских поездов и другие условия. Но в целом он отражает неодинаковость условий расчёта значения показателя $\gamma_{пв}^{пасс}$ по железным дорогам, что показано на рис. 1. На нём представлено годовое количество остановок пассажирских поездов по станциям посадки (высадки) на различных железных дорогах (2018 год) и их доли по количеству остановок.

В целях рассмотрения степени влияния количества остановок пассажирских (при-

[6] Методика учёта времени нагона опоздания высокоскоростных, скоростных, пассажирских и пригородных поездов, утверждённая распоряжением ОАО «РЖД» от 10 июня 2019 г. № 1142/р. [Электронный ресурс]: https://promarket.shop/metodika-ucheta-vremeni-nagona-opozdaniya-vysokoskorostnykh-skorostnykh-passazhirskikh-i-prigorodnykh-poezdov-utverzhdena-rasporyazheniem-oao-rzhd-ot-10–06–2019–1142-r/. Доступ 15.01.2021.



Рис. 1. Годовое количество остановок по станциям посадки/высадки пассажиров по сети (2018 год) и их доли по количеству остановок на железных дорогах. (Статистические отчёты ф.ДО-13ВЦ, ф.ДО-11 ОАО «РЖД» о выполнении расписания движения пассажирских/пригородных поездов по станциям посадки (высадки) пассажиров).

городных) поездов для посадки/высадки пассажиров в качестве дополнительного фактора при нормировании показателей $\gamma_{пв}^{пасс}$ и $\gamma_{пв}^{приг}$ необходимо выполнить статистический анализ зависимостей:

$$\gamma_{пв}^{пасс} = F(K_{ост}^{пасс}), \quad (1)$$

где $K_{ост}^{пасс}$ – количество остановок у пассажирских поездов.

$$\gamma_{пв}^{приг} = F(K_{ост}^{приг}), \quad (2)$$

где $K_{ост}^{приг}$ – количество остановок у пригородных поездов.

Влияние количества графиковых остановок на выполнение расписания пассажирских и пригородных поездов следует оценивать не по абсолютному, а по удельному количеству остановок, приходящихся на один отправленный поезд.

Чем больше остановок имеют на железной дороге отправленные поезда, тем большее влияние должны оказывать их единичные опоздания на показатели $\gamma_{пв}^{пасс}$ и $\gamma_{пв}^{приг}$. Назовём данную зависимость *фактором e*, численное значение которого по железным дорогам равно:

• для пассажирских поездов:

$$e^{пасс} = \frac{K_{ост}^{пасс}}{n_{от}^{пасс}}, \quad (3)$$

где $n_{от}^{пасс}$ – количество пассажирских поездов, отправившихся на железной дороге со станций отправления или поступивших с соседних железных дорог;

$K_{ост}^{пасс}$ – количество остановок у пассажирских поездов.

• для пригородных поездов:

$$e^{приг} = \frac{K_{ост}^{приг}}{n_{от}^{приг}}, \quad (4)$$

где $n_{от}^{приг}$ – количество пригородных поездов, отправившихся на железной дороге со станций отправления или поступивших с соседних железных дорог;

$K_{ост}^{приг}$ – количество остановок у пригородных поездов.

Количество остановок пассажирских ($K_{ост}^{пасс}$) и пригородных ($K_{ост}^{приг}$) поездов равно имеющемуся в отчётных формах количеству фактов: прибытия на станции посадки (высадки) для пассажирских поездов и прибытия на промежуточные для пригородных поездов.

В табл. 1 приведены отчётные данные выполнения расписания пассажирских поездов в 2019 году, а в табл. 2 – пригородных поездов для всех принятых в ОАО «РЖД» учётных показателей по данным видам движения – в пассажирском движении: по отправлению – $\gamma_{от}^{пасс}$; по проследованию, то есть, по станциям посадки и высадки пассажиров – $\gamma_{пв}^{пасс}$; по прибытии на конечную станцию – $\gamma_{пр}^{пасс}$; в пригородном движении: отправление поездов с пунктов отправления – $\gamma_{от}^{приг}$; прибытие поездов на промежуточные пункты – $\gamma_{пв}^{приг}$; прибытие поездов в пункты назначения – $\gamma_{пр}^{приг}$.

В соответствии с действующей отчётностью численное значение фактора $e^{пасс}$,

Таблица 1

Выполнение расписаний движения пассажирских поездов по железным дорогам

Железные дороги	Отправление пассажирских поездов		Прибытие пассажирских поездов на станцию посадки / высадки		Прибытие пассажирских поездов на станцию назначения	
	кол-во фактов отправления	в т.ч. с опозданием	кол-во фактов прибытия пв	в т.ч. с опозданием	кол-во фактов прибытия	в т.ч. с опозданием
	$n_{от}^{пасс}$	$n_{от}^{пасс\ оп}$	$n_{пв}^{пасс}$	$n_{пв}^{пасс\ оп}$	$n_{пр}^{пасс}$	$n_{пр}^{пасс\ оп}$
Окт.	47 980	440	349 053	5 437	47 976	652
Клг	824	–	6 051	17	823	2
Моск.	63 675	409	255 526	4 595	63 661	1 645
Горьк.	13 979	49	311 192	3 465	13 956	91
Сев.	14 562	72	442 595	6 011	14 560	398
С-Кав.	27 577	98	568 152	8 314	27 580	328
Ю-Вос.	6 244	33	284 530	3 426	6 243	48
Прив.	6 528	91	137 980	2 518	6 538	161
Кбш	8 498	29	260 699	3 285	8 490	116
Сверд.	9 876	27	288 156	7 131	9 903	136
Ю-Ур.	6 395	36	162 868	1 702	6 459	41
З-Сиб.	11 770	36	251 143	2 178	11 706	79
Крас.	3 282	18	137 016	4 461	3 288	63
В-Сиб.	3 905	29	198 649	9 640	3 908	244
Заб.	4 025	54	127 258	13 417	4 014	240
Д-Вос.	8 557	56	284 008	5 430	8 553	241
Сеть	237 677	1 477	4 064 876	81 027	237 658	4 485

Примечание: Данные статистических отчётов ф.ДО-13ВЦ, ф.ДО-11. Отчёт о выполнении расписания движения пассажирских поездов по станциям посадки (высадки) пассажиров.

Таблица 2

Выполнение расписаний движения пригородных поездов по железным дорогам

Железные дороги	Отправление пригородных поездов		Прибытие пригородных поездов на промежуточные пункты		Прибытие пригородных в пункты назначения	
	кол-во фактов отправления	в т.ч. с опозданием	кол-во фактов прибытия	в т.ч. с опозданием	кол-во фактов прибытия	в т.ч. с опозданием
	$n_{от}^{приг}$	$n_{от}^{приг\ оп}$	$n_{пв}^{приг}$	$n_{пв}^{приг\ оп}$	$n_{пр}^{приг}$	$n_{пр}^{приг\ оп}$
Окт.	347 983	1 521	2 058 112	18 316	347 985	3 458
Клг	26 582	14	83 952	70	26 582	35
Моск.	996 070	12 898	6 071 131	121 486	996 286	24 930
Горьк.	165 204	494	988 571	5 333	165 209	1 094
Сев.	56 478	337	454 682	4 963	56 114	623
С-Кав.	129 780	549	758 919	4 990	129 780	1 128
Ю-Вос.	64 725	206	318 364	1 459	64 725	355
Прив.	38 972	157	301 465	2 129	38 972	357
Кбш	55 787	200	487 972	3 132	55 894	468
Сверд.	120 203	964	921 782	10 002	120 567	2 204
Ю-Ур.	39 904	129	275 180	1 545	39 539	306
З-Сиб.	106 554	151	640 268	1 545	106 554	372
Крас.	36 187	241	148 692	1 991	36 187	650
В-Сиб.	41 491	323	311 784	5 963	41 492	1 346
Заб.	19 114	348	120 598	9 918	19 115	2 722
Д-Вос.	40 208	209	250 616	3 259	40 209	608
Сеть	2 285 242	18 741	14 192 088	196 101	2 285 210	40 656

Примечание: Данные статистических отчётов ф.ДО-13ВЦ, ф.ДО-11 ОАО «РЖД».

т.е. количества остановок пассажирских поездов на станциях посадки и высадки, приходящихся на один отправленный пассажирский поезд, определяется по формуле:

$$e^{пасс} = \frac{n_{пв}^{пасс}}{n_{от}^{пасс}}, \quad (5)$$

где $n_{пв}^{пасс}$ – количество фактов прибытия пассажирских поездов на станции посадки (высадки) пассажиров в пути следования поезда;

$n_{от}^{пасс}$ – количество фактов отправления пассажирских поездов.

Для фактора $e^{приг}$:

$$e^{приг} = \frac{n_{пв}^{приг}}{n_{от}^{приг}}, \quad (6)$$

где $n_{пв}^{приг}$ – количество фактов прибытия пригородных поездов на промежуточные пункты;

$n_{от}^{приг}$ – количество фактов отправления пригородных поездов.

Доля опоздавших поездов для каждого учётного вида поездов (пассажирских или пригородных) равна:

• по отправлению поездов:

$$\alpha_{от} = \frac{n_{от}^{оп}}{n_{от}} 100, \%, \quad (7)$$

где $n_{от}^{оп}$ – количество опоздавших поездов (пассажирских и пригородных) при отправлении;

$n_{от}$ – количество фактов отправления (пассажирских или пригородных) поездов.

• по прибытии на станцию посадки (высадки) или по прибытии на промежуточные пункты:

$$\alpha_{пв} = \frac{n_{пв}^{оп}}{n_{пв}} 100, \% \quad (8)$$

где $n_{пв}^{оп}$ – количество опоздавших пассажирских поездов по прибытии на станции посадки (высадки) пассажирских поездов или пригородных поездов по прибытии на промежуточные пункты;

$n_{пв}$ – количество фактов прибытия на станции посадки (высадки) пассажирских поездов или на промежуточные пункты пригородных поездов.

• по прибытии на станцию назначения или на конечные пункты:

$$\alpha_{пр} = \frac{n_{пр}^{оп}}{n_{пр}} 100, \% \quad (9)$$

где $n_{пр}^{оп}$ – количество опоздавших пассажирских поездов по прибытии на станции назначения или пригородных поездов по прибытии на конечные пункты;

$n_{пр}$ – количество фактов прибытия пассажирских поездов на станцию назначения или пригородных поездов на конечные пункты.

Изменение доли опоздавших поездов для учётного вида «прибытие на станции посадки (высадки)» по сравнению с долей для учётного вида «отправление поездов» определяется по формуле (тоже для пригородных поездов по прибытии на промежуточные пункты):

$$z_{пв/от} = \frac{\alpha_{пв}}{\alpha_{от}}. \quad (10)$$

Представляет интерес также влияние доли опозданий по станциям посадки (высадки) на долю опозданий по прибытии:

$$z_{пр/пв} = \frac{\alpha_{пр}}{\alpha_{пв}}. \quad (11)$$

Все расчёты по формулам (3–11) на основании статистических данных за 2019 год для пассажирского движения сведены в табл. 3, для пригородного – в табл. 4.

Связь между количеством остановок и изменением доли опаздывающих поездов проверена на основании определения коэффициента детерминации (критерия согласия) – R^2 [13], то есть изменчивости $z_{пв/от}$ (доли опаздывающих поездов по отношению к доле отправленных поездов) от фактора e (отношения количества остановок к количеству фактов отправления). Полные данные для всех железных дорог по $z_{пв/от} = f(e)$ в пассажирском и пригородном движении приведены на рис. 2 и 3, соответственно.

По шкале Чеддока [13] значение коэффициента детерминации (R^2) в пределах от 0 до 0,3 интерпретируется как очень слабая зависимость.

Таким образом, установлено незначительное влияние на выполнение расписаний пассажирских и пригородных поездов количества графиковых остановок в пути следования. Следовательно, фактор e не следует учитывать при нормировании показателей выполнения расписаний поездов.

Таблица 3

Результаты расчётов значений $e^{пасс}$, $\alpha_{от}$, $\alpha_{пв}$, $\alpha_{пр}$, $z_{пв/от}$, $z_{пр/пв}$ для пассажирского движения

Железные дороги	Расчётные значения					
	$e^{пасс}$	$\alpha_{от}$, %	$\alpha_{пв}$, %	$\alpha_{пр}$, %	$z_{пв/от}$	$z_{пр/пв}$
Окт.	7,275	0,92	1,56	1,36	1,70	0,87
Клг	7,343	0,00	0,28	0,24	0,00	0,86
Моск.	4,013	0,64	1,80	2,58	2,80	1,44
Горьк.	22,261	0,35	1,11	0,65	3,18	0,59
Сев.	30,394	0,49	1,36	2,73	2,75	2,01
С-Кав.	20,602	0,36	1,46	1,19	4,12	0,81
Ю-Вос.	45,569	0,53	1,20	0,77	2,28	0,64
Прив.	21,137	1,39	1,82	2,46	1,31	1,35
Кбш	30,678	0,34	1,26	1,37	3,69	1,08
Сверд.	29,177	0,27	2,47	1,37	9,05	0,55
Ю-Ур.	25,468	0,56	1,05	0,63	1,86	0,61
З-Сиб.	21,338	0,31	0,87	0,67	2,84	0,78
Крас.	41,748	0,55	3,26	1,92	5,94	0,59
В-Сиб.	50,870	0,74	4,85	6,24	6,53	1,29
Заб.	31,617	1,34	10,54	5,98	7,86	0,57
Д-Вос.	33,190	0,65	1,91	2,82	2,92	1,47
Сеть	17,103	0,62	1,99	1,89	3,21	0,95

Таблица 4

Результаты расчётов значений $e^{приг}$, $\alpha_{от}$, $\alpha_{пв}$, $\alpha_{пр}$, $z_{пв/от}$, $z_{пр/пв}$ для пригородного движения

Железные дороги	Расчётные значения					
	$e^{приг}$	$\alpha_{от}$, %	$\alpha_{пв}$, %	$\alpha_{пр}$, %	$z_{пв/от}$	$z_{пр/пв}$
Окт.	5,914	0,44	0,89	0,99	2,02	1,12
Клг	3,158	0,05	0,08	0,13	1,6	1,58
Моск.	6,095	1,29	2,00	2,50	1,55	1,25
Горьк.	5,984	0,30	0,54	0,66	1,80	1,23
Сев.	8,051	0,60	1,09	1,11	1,83	1,02
С-Кав.	5,848	0,42	0,66	0,87	1,55	1,32
Ю-Вос.	4,919	0,32	0,46	0,55	1,44	1,20
Прив.	7,735	0,40	0,71	0,92	1,75	1,30
Кбш	8,747	0,36	0,64	0,84	1,79	1,30
Сверд.	7,669	0,80	1,09	1,83	1,35	1,68
Ю-Ур.	6,896	0,32	0,56	0,77	1,74	1,38
З-Сиб.	6,009	0,14	0,24	0,35	1,70	1,45
Крас.	4,109	0,67	1,34	1,80	2,01	1,34
В-Сиб.	7,514	0,78	1,91	3,24	2,46	1,70
Заб.	6,309	1,82	8,22	14,24	4,52	1,73
Д-Вос.	6,233	0,52	1,30	1,51	2,50	1,16
Сеть	6,210	0,82	1,38	1,78	1,68	1,29

Для нормирования и анализа выполнения показателей представляет интерес взаимосвязь показателей по отправлению, прослеживанию и прибытии пассажирских и пригородных поездов, которая может быть установлена по статистическим данным таблиц 1–4.

Следует отметить высокий уровень выполнения расписаний (в %) по отправлению на сетевом уровне в пассажирском – 99,38 % и пригородном – 99,18 % движении. Выполнение расписаний по прослеживанию снижается, соответственно, до 98,01 % и 98,62 %. Выполнение расписаний по прибытии близко к уровню выполнения расписаний по прослеживанию, соответственно, 98,22 % и 98,11 %.

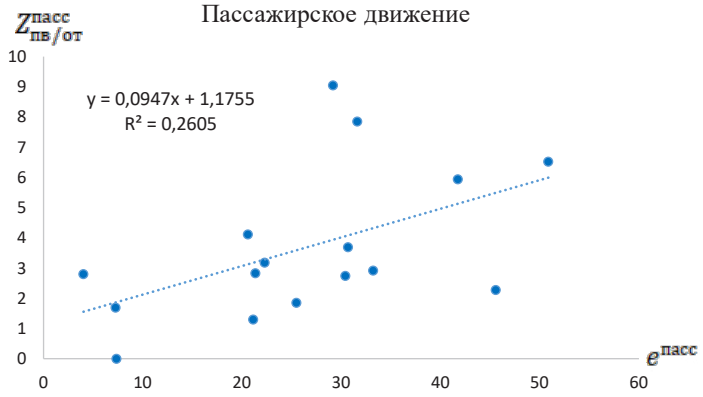


Рис. 2 Линейная регрессия зависимости количества опозданий пассажирских поездов, следующих с остановками в пути следования, от количества остановок на маршруте.

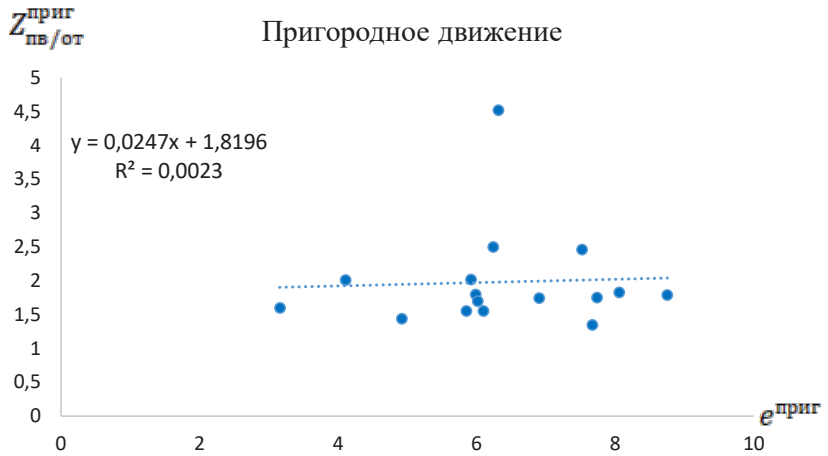


Рис. 3. Линейная регрессия зависимости количества опозданий для пригородных поездов, следующих с остановками в пути следования, от количества остановок на маршруте.

Сравнение этих результатов, достигнутых в ОАО «РЖД», с опубликованными зарубежными данными указывает на устойчивую работу отечественных железных дорог по выполнению расписаний в пассажирском движении. Например, в Великобритании в первой половине 2010-х гг. [14] по данным двадцати трёх операторов пассажирских перевозок максимальный уровень достигал 96,7 %, уровень выше 90 % достигли одиннадцать операторов, при среднем значении для всех операторов – 89,1 %. В 2019 году была изменена методика расчёта выполнения расписания. Если ранее учитывалось опоздание прибытия на конечную станцию в пределах 5–10 минут, то с этого времени учитываются опоздания в пределах 1 минуты по всем проследуемым станциям[7]. Например, по данным за второй квартал 2020–2021 финансового года было отменено всего 2,2 % от запланированного числа отправлений (1645696), а среднее число отмен в годовом исчислении на тот момент оценивалось в 3 %. На основе информации о 17792303 остановках в пути следования 79,3 % были осуществлены по расписанию (в пределах отклонения не более, чем на 1 минуту), что в среднегодовом исчислении на тот момент оценивалось в 71,2 %). 92,5 % остановок в пути следования было совершено в пределах трёхминутного отклонения от расписания (87,2 % в пересчёте на годовые

[7] [Электронный ресурс]: https://media.raildeliverygroup.com/news/every-second-counts-as-rail-firms-use-new-punctuality-measures-to-help-improve-performance. Доступ 15.01.2021.

данные), 99,3 % – в пределах пятнадцатиминутного отклонения (98,7 % в пересчёте на год)[8].

В странах Европейского Союза ситуация в начале – первой половине 2010-х годов отличалась. Согласно данным [15], на некоторых железных дорогах Франции допускались отклонения пассажирских поездов более чем 10 % от графика, но лишь 29 % таких опозданий связаны с внешними причинами и проблемами содержания инфраструктуры. В пригородном сообщении Гамбурга (ФРГ) уровень выполнения расписаний в тот же период составил 94 % [16] при этом транспортный договор с компанией, выполняющей функции операторов пассажирских перевозок, предусматривал точность соблюдения графика 94,7 %. При оценке фактически достигнутого уровня учитывается фактор увеличения объёма перевозок по сравнению с предусмотренным в договоре. Особенно сложным становилось выполнение расписаний при затруднениях, связанных с климатическими условиями. Отмечалось, например, что на железных дорогах ФРГ [17] в зимние месяцы уровень выполнения расписаний мог снижаться до 77,2 %, а в отдельные дни даже до 20,5 %.

В ЕС в 2007 году был принят (вступил в силу в 2009 году) регламент № 1371/2007 о правах и обязанностях пассажиров железнодорожного транспорта, в частности, предусматривающий компенсации за несоблюдение графика движения при опоздании более часа в зависимости от вида сообщения [18, с. 21; рис. 7]. При этом с 2017 года обсуждается актуализация этого документа в силу того, что его цели не полностью достигнуты, в том числе по причине исключения из применения не носящих обязательного характера положений большинством стран ЕС [18, с. 5]. В докладе отмечаются значительные различия в периодичности и объёме сбора и публикации данных по отмене назначенных поездов и опозданиях [18, с. 21–25], приведён анализ статистики выполнения расписания пассажирского движения в региональном и дальнем сообщении в 2016 году по странам ЕС [18, с. 24], корреляции удовлетворённости пассажиров полученными услугами и выполнения расписания.

[8] [Электронный ресурс]: https://dataportal.orr.gov.uk/popular-statistics/how-many-trains-arrive-on-time/. Доступ 15.01.2021.

Наиболее высокий уровень выполнения расписаний достигнут на высокоскоростных железных дорогах Японии [19], на которых среднее опоздание поездов не превышает одной минуты, это достигается за счёт создания высоконадёжной инфраструктуры и подвижного состава и постоянного проведения мер по их текущему содержанию и ремонту.

ВЫВОДЫ

На основе проведённого на примере сети ОАО «РЖД» анализа и предложенных формул расчёта можно сделать вывод, что соотношение между различными показателями, характеризующими пассажирское движение, можно оценить по величине значений z в формулах (10) и (11). Для пассажирского движения эти величины равны: 3,2 и 0,95; для пригородного: 1,7 и 1,3.

Из этого следует, что на выполнение расписаний существенное влияние оказывают условия следования поездов уже после их отправления.

В частности, на сети железных дорог в России основные задержки связаны по данным отчётности с отказами технических средств 1–2 категории (ОТС), которые вызывают задержки поездов. Анализ ОТС показывает, что при отсутствии управляющих воздействий на движение пассажирских и пригородных поездов после того, как отказ произошёл, уровень выполнения расписаний снизился бы примерно на 6–7 %, т.е. до уровня 93–94 %, что неблагоприятно сказалось бы на имидже ОАО «РЖД» в области пассажирских перевозок. Такого возможного значительного снижения уровня выполнения расписаний не происходит вследствие управляющих воздействий диспетчерского аппарата по «нагону» расписаний.

Следовательно, в современных условиях крайне важно обеспечить выполнение диспетчерским аппаратом работы по управлению движением на участках и в целом на железных дорогах по выполнению «нагонов» расписаний опаздывающих пассажирских и пригородных поездов. В России на сети железных дорог пассажирские и грузовые перевозки выполняются в основном по одним и тем же линиям часто при высоком уровне заполнения пропускной способности. В этих условиях

«нагоны» расписаний выполняются за счёт сдвига в графике «ниток» грузовых поездов, вызывая их отклонение от расписаний. Этот фактор следует учитывать при нормировании показателей выполнения расписаний грузовых поездов.

Близость значений $\alpha_{пв}$ и $\alpha_{пр}$ говорит о возможности уменьшения количества нормируемых показателей в пассажирских перевозках. Целесообразно оставить два показателя, например, выполнение расписаний по отправлению и по прибытии, поскольку величина $\gamma_{пр}$ по существу включает в себя и показатель $\gamma_{пв}$.

Разработанные в статье предложения целесообразно использовать для совершенствования системы нормирования показателей выполнения графика движения поездов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Abdul Sukor, Nur Sabahiah; Subramaniam, Moganraj; Masirin, Mohd Idrus Mohd. Punctuality of Intercity Trains and Passengers' Perspective towards Arrival Time Delay. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 2013, Vol. 5, Iss. 6, pp. 1998–2002. [Электронный ресурс]: DOI: 10.19026/rjaset.5.4741 Доступ 15.01.2021.

2. Goverde, R. M. P. Punctuality of Railway Operations and Timetable Stability Analysis. PhD thesis. TRAIL Thesis Series no. T2005/10. The Netherlands TRAIL Research School [Netherlands Research School on Transport, Infrastructure and Logistics], 2005, 293 p. [Электронный ресурс]: http://resolver.tudelft.nl/uuid:a40ae4f1-1732-4bf3-bbf5-fdb8dfd635e7. Доступ 15.01.2021.

3. Grechi, D., Maggi, E. The importance of punctuality in rail transport investigation on the delay determinants. European Transport/Trasporti Europei, Eur. Transp. Trasp. Eur. 2018, 70, 1–23. [Электронный ресурс]: http://www.istiee.unict.it/europeantransport/papers/N70/P02_70_2018.pdf. Доступ 15.01.2021.

4. Palmqvist, C.-W. Delays and Timetabling for Passenger Trains. Doctoral Dissertation. Lund University, Faculty of Engineering, Department of Technology and Society. Bulletin 317, 2019, 104 p. and annexed papers. [Электронный ресурс]: https://www.trafikverket.se/contentassets/27b69216a6b845efb48ec7dd2bf049ce/carl-william_palmqvist_komplett.pdf. Доступ 15.01.2021.

5. Garrisi, G., Cervelló-Pastor, C. Train-Scheduling Optimization Model for Railway Networks with Multiplatform Stations. Sustainability, 2020, Vol. 12, Iss. 257. [Электронный ресурс]: DOI:10.3390/su12010257.

6. Olsson, N. O. E. Train punctuality analysis in a rolling stock perspective. Transportation Research Procedia, Vol. 47, pp. 641–647. [Электронный ресурс]: DOI: 10.1016/j.trpro.2020.03.142. Доступ 15.01.2021.

7. Nyström, B. Aspects of Improving Punctuality. From Data to Decision in Railway Maintenance. Doctoral thesis. Luleå University of Technology, Department of Civil, Mining and Environmental Engineering, Division of Operation and Maintenance Engineering, 2008, 101 p., appendixes. [Электронный ресурс]: http://ltu.diva-portal.org/smash/get/diva2:999787/FULLTEXT01.pdf. Доступ 15.01.2021.

8. Soltani, S. Investigating the Effect of Trackwork on Punctuality of Swedish Railways. Master's thesis in Project Management (Supervisor N. Ollson). Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Economics and Management, Department of Industrial Economics and Technology Management, June 2019. [Электронный ресурс]: https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2632047/no.ntnu%3Ainspera%3A2523332.pdf?sequence= 1&isAllowed=y. Доступ 15.01.2021.

9. Økland, A., Olsson, N. O. E. Punctuality development and delay explanation factors on Norwegian railways in the period 2005–2014. Public Transport (2021), Vol. 13, pp. 127–161. Published online 9 June 2020. [Электронный ресурс]: DOI: https://doi.org/10.1007/s12469-020-00236-y.pdf. Доступ 15.01.2021.

10. Palmqvist, C.-W., Olsson, N. O. E., Winslott-Hiselius, L. Some influencing factors for passenger train punctuality in Sweden. International Journal of Prognostics and Health Management (IJPHM Special Issue on Railway Systems & Mass Transportation), 2017, Vol. 8, No. 3. [Электронный ресурс]: DOI: https://doi.org/10.36001/ijphm.2017.v8i3.2649. Доступ 15.01.2021.

11. Авдовский А. А., Бадаев А. С. и др. Организация железнодорожных пассажирских перевозок: Учебное пособие. – 5-е изд. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 256 с. [Электронный ресурс]: https://fileskachat.com/download/44528_5b63ab34eae0c771c15f4b269a94a5f8.html. Доступ 15.01.2021.

12. Мехедов М. И., Сотников Е. А., Мехедова Е. А. Развитие системы показателей выполнения расписаний движения пассажирских и пригородных поездов для железных дорог и сети в целом // Вестник ВНИИЖТ. – 2020. – № 4. – С. 183–190. DOI: https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-4-183-190. Доступ 15.01.2021.

13. Ишханян М. В., Карпенко Н. В. Эконометрика. Парная регрессия: Учеб. пособие. Часть I. – М.: МИИТ, 2016. – 117 с. [Электронный ресурс]: https://docplayer.ru/45933548-Kafedra-matematika-m-v-ishhanyan-n-v-karpenko-ekonometrika-chast-i-parnaya-regressiya-uchebnoe-posobie.html. Доступ 15.01.2021.

14. Sherrat, Ph., Mikes, T. Steady performance decline: Modern Railways, 2016, Vol. 73, No. 813, p. 13.

15. Mauvais jours pour la ponctualite des trains. La Vie du Rail hebdo, 2017, No. 3621, p. 9. [Электронный ресурс]: https://www.laviedurail.com/magazines-archives/la-vie-du-rail-hebdomadaire/3621_LVDR/. Доступ 15.01.2021.

16. S-bahn Гамбурга ставит рекорд точности: Железные дороги мира. – 2011. – № 2. – С. 5. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_16365723_51685922.pdf. Доступ 15.01.2021.

17. Зимние задержки поездов в Германии (новости): Железные дороги мира. – 2011. – № 2. – С. 2. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_16365723_51685922.pdf. Доступ 15.01.2021.

18. Le suivi de la qualité de service et des droits des passagers dans le transport ferroviaire de vouageurs en Europe et en France. [Электронный ресурс]: http://autorite-transports.fr/wp-content/uploads/2018/12/le_suivi_de_la_qualite_de_service_et_des_droits_des_passagers_dans_le_transport_ferroviaire_de_voyageurs_en_europe_et_en_france_novembre_2018.pdf. Доступ 15.01.2021.

19. Punctuality Tokyo style: Modern Railways, February 2019, pp. 76–79. [Электронный ресурс]: https://www.keymodernrailways.com/article/punctuality-tokyo-style. Доступ 15.01.2021.

DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-1-136-155

Analysis of Influence of Number of Station Stops on Punctuality of Passenger and Suburban Trains



Mekhedova, Evgenia A., *Railway Research Institute, Moscow, Russia*.*

Evgenia A. MEKHEDOVA

ABSTRACT

One of the main tasks of railway employees is to ensure 100 % punctuality of passenger and suburban trains. However, this is impossible due to the action of various reasons, comprising actual reliability of technical equipment and vehicles, natural and other factors. Various companies have different standards and practices of setting and monitoring relevant indicators.

The objective of the study was to find out the degree of influence of the e factor formulated as «the number of station stops on the route» on the rate of punctuality of passenger and suburban trains.

Calculations and approbation of the suggested model were performed using the example of the JSC Russian Railways.

Russian Railways standardise punctuality indicators based on the past performance principle. This does not guarantee that the objective conditions for organising operational work on various railways are fully considered. Besides, it is suggested to consider as main conditions: the level of the use of transit capacity, the technical condition of the infrastructure and rolling stock, etc. However, the factor of the number of station stops of passenger or suburban trains en route envisaged by the traffic schedule is not considered. The greater is the number of station stops, the greater impact, in the absence of a possibility to recover the delay and catch up the traffic schedule, this factor has on the level of traffic punctuality. In turn, the chance to get back on traffic schedule in passenger long distance traffic is higher than in suburban traffic with short routes.

The number of station stops varies significantly across the railways, which indicates the unequal conditions of their operation according to this factor.

The numerical value of the e factor, as well as of the values of the share of delayed trains (calculated separately for passenger and suburban trains) were determined: by delay in departure – α_{dep}; by delay in arrival at intermediate points of the route – α_{int}; by delay in arrival at the destination – α_{ar}. Based on these data, parameters have been established that have allowed to determine the relationship between the number of station stops (e) and the change in the share of delayed trains. Using the methods of mathematical statistics, the insignificant influence of the e parameter on the values of α_{dep}, α_{int} and α_{ar} has been established. It is shown that the punctuality of passenger and suburban trains is significantly influenced by the traffic conditions after departure from the initial station and especially by the possibility to come back on the traffic schedule after possible delays along the route. In this case, one should consider the combined organisation of passenger and freight traffic on most lines of the considered network. It is proposed to optimise the number of standardised indicators in view of their reduction.

Keywords: transport, railway, train schedule, passenger, suburban and commuter trains, standardisation, accounting and analysis of punctuality, factors affecting the punctuality.

---

*Information about the author:
Mekhedova, Evgenia A. – Leading Technologist of Scientific Centre of Digital Transportation Models and Power Saving Technology of JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT), Moscow, Russia,
✉ mekhedova.evgeniya@vniizht.ru.

Article received 07.10.2020, revised 22.01.2021, accepted 03.02.2021.

For the original Russian text of the article please see p. 136.

INTRODUCTION

Punctuality of passenger and suburban[1] trains is one of the most important criteria of assessment of the quality of services provided by railway transport in all the countries where the rail traffic exists (in some countries, e.g., in Great Britain train punctuality analysis is open access for public[2]). That is entirely true as well regarding railway system in the Russian Federation that has one of the longest networks.

Hence, issues of punctuality attract sufficiently significant attention in science literature, master's, and doctoral theses. The task of this study has not comprised comparative analysis of parameters and methods used on different railways, but diversity of on-going research should certainly be mentioned. Along with system studies on the issue [1–4], the detailed analysis focuses on various dedicated problems, e.g., of the impact of multiplatform stations [5], infrastructure maintenance [6–8]. The approach towards studying impact of total route length on punctuality should not be neglected (i.e., the author of [4, p. 77] suggests that punctuality is negatively correlated with the length of the journey, on average dropping is by about 3 % per 100 km). Particular attention in the context of the topic under the study should be paid to the works that examine different aspects of the punctuality within the framework of the national rail networks (e.g., [1; 9–10].

In Russia the traffic schedule[3] compliance is regulated by legal acts[4]. This issue is part of curricula intended for training railway employees (e.g., [11]).

Lack of punctuality of passenger and suburban trains is often critical for passengers[5], for example, when travelling to workplace or to the place of a business meeting, when changing to another mode of transport and in other cases. Almost all delays cause a feeling of dissatisfaction among passengers, affecting the passenger index of satisfaction with the quality of railway transportation services[6].

Railway employees should strive to comply the established traffic schedule of passenger and suburban trains at 100 %. However, for a number of objective reasons, it is not possible to achieve this over a long period and for all the trains. Such reasons comprise actual reliability of technical equipment, locomotives, cars, tracks, control devices; natural factors (weather conditions, natural anomalies); technogenic anomalies; special technological need (embarkation and disembarkation at intermediate stations of medical staff, patients); passage of priority trains (fire, engineering trains); human factor. Therefore, when standardising, accounting and analysing traffic schedule of passenger and suburban trains, it is necessary to correctly assess deviations from timetable.

Russian Railways for accounting and standardising timetable compliance in passenger traffic use, among others, indicators that reflect possible deviations from timetable of passenger and suburban trains while they are moving between terminal stations of departure and arrival:

- Degree of punctuality of passenger trains at stations of embarkation (disembarkation) of passengers along the route: γ_{ed}^{pass} .
- Degree of punctuality of suburban trains at intermediate stations: γ_{ed}^{sub} .

Those and other indicators are currently standardised based on past performance principle which does not allow considering the

[1] The term «passenger trains» used by the author in original Russian text refers to all types of passenger trains, the term «suburban train» refers to both suburban and commuter trains. – *Editorial note.*

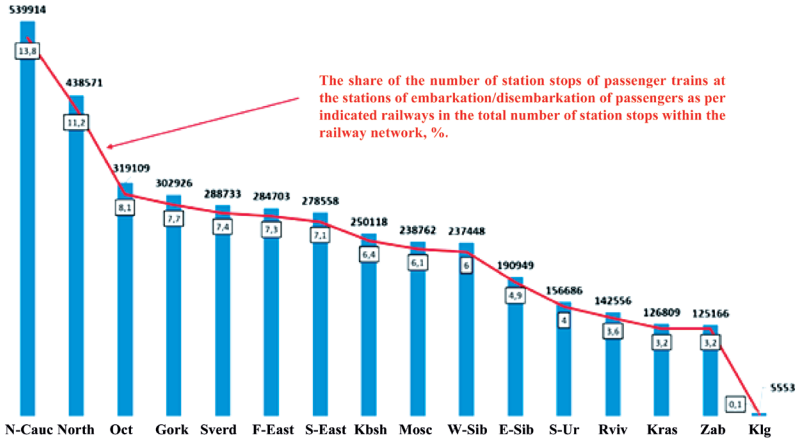
[2] The Rail Delivery Group (RDG). [Electronic resource]: https://www.raildeliverygroup.com/punctuality.html. Last accessed 15.01.2021.

[3] The author in the original Russian text based on national perspective differentiates the notions of a timetable as of information, e.g. public timetable, on train times and of railway companies' train traffic schedule (e.g., chart) intended for operations of traffic control centres translated in the article for simpicity as traffic schedule or schedule.The approach to punctuality regarding the time of train arrival at stations in both cases mostly coincide. – *Editorial note.*

[4] Rules for technical operation of the railways of the Russian Federation, approved by Order of the Ministry of Transport of Russia dated December 21, 2010, No. 286. [Electronic resource]: https://base.garant.ru/55170488/. Last accessed 15.01.2021.

[5] The program for improving quality of transport services for passengers in 2017–2019, approved by the order of JSC Russian Railways dated March 24, 2017, No. 543r. [Electronic resource]: https://docs.cntd.ru/document/456076255?marker=6560IO. Last accessed 15.01.2021.

[6] A unified methodology for assessing the level of passenger satisfaction with quality of railway transport services, approved by the order of JSC Russian Railways dated February 7, 2018, No. 227/r. [Electronic resource]: https://urizdat.ru/books/zheleznodorozhnyy-transport/infrastruktura-obschie-polozheniya-cdi/edinaya-metodika-ocenki-urovnya-udovletvorennosti-passazhirov-kachestvom-uslug-zheleznodorozhnogo-transporta.-utverzhdena-rasporyazheniem-oao-rzhd-ot-07.02.2018-227-r.html. Last accessed 15.01.2021.



Pic. 1. Annual number of station stops as per stations of embarkation/disembarkation of passengers along the network (2018 year) and their shares as per number of station stops on each railway (compiled based on the statistical reports of DO-13VTs, DO-11 forms of JSC Russian Railways on punctuality of passenger trains at the stations of embarkation (disembarkation) of passengers).
Here and further-on the abbreviations mean: N-Cauc – Northern Caucasian railway; North – Northern (Severnaya) railway; Oct – Octyabrskaya (October) railway; Gork – Gorkovskaya (Gorky) railway; Sverd – Sverdlovskaya (Sverdlovsk) railway; F-East – Far Eastern railway; S-East – South-Eastern railway; Kbsh – Kuybyshevskaya (Kuybyshev) railway; Mosc – Moscow railway; W-Sib- West Siberian railway; E-Sib – East Siberian railway; S-Ur – South Urals railway; Priv – Privolzhskaya (Volga coastal) railway; Kras – Krasnoyarskaya (Krasnoyarsk) railway; Zab – Zabaikalskaya (Baikal) railway; Klg – Kaliningradskaya (Kaliningrad) railway.

objective conditions of operations on the railways when standardising tasks for the future periods. A methodology was developed [12] for accounting and standardising the punctuality indicators for passenger and suburban traffic through separate railways and the whole network based on the action of several factors that objectively affect the train traffic along their routes.

Such factors, according to [12], are:

• The level of use of available transit capacity of the sections (except for low-activity sections), as well as the degree of concentration of train flows.

• Technical condition of infrastructure and rolling stock, determined by the share of failures of technical equipment and rolling stock (affecting the punctuality) per 1 million train-km performed on a separate railway.

• The total duration of the daily time budget allocated for planned repair and construction works[7], ratioed to the operational length of the railways.

• The degree of respect of the technology standards assumed to be the same for all the railways.

At the same time, it can be assumed that for quantitative assessment of indicators γ_{ed}^{pass} and γ_{ed}^{sub}, the factor of the actual number of station stops along the route may be of great importance.

The *objective* of the study was to reveal the degree of influence of the factor of the number of station stops along the route on the rate of punctuality of passenger and suburban trains using *mathematical statistics*.

RESULTS

Let us examine the case when, for example, a passenger train has seven station stops along the route. If the delay occurred at the first station stop, and there is no possibility to get back on the schedule along the rest of the route, then seven cases of deviations from the schedule will be recorded in the statistical reporting data for the indicator γ_{ed}^{pass}. If the train has one station stop while moving from the departure station to the destination station, then one delay along the route will not increase the number of statistical cases of deviations from the timetable.

The condition of a possibility to recover the delay of passenger and suburban trains is also important[8]. Passenger trains have a much

[7] Instructions for calculating available transit capacity of railways. Moscow, Techinform publ., 2010, 289 p.

[8] The method of accounting for the time of late arrival of high-speed, speed, passenger and suburban trains, approved by the order of JSC Russian Railways dated June 10, 2019 No. 1142/r. [Electronic resource]: https://promarket.shop/metodika-ucheta-vremeni-nagona-opozdaniya-vysokoskorostnykh-skorostnykh-passazhirskikh-i-prigorodnykh-poezdov-utverzhdena-rasporyazheniem-o-ao-rzhd-ot-10-06-2019-1142-r/. Last accessed 15.01.2021.

longer route than suburban trains. Consequently, the chances to come back to the planned timetable are much higher. Therefore, it is possible to expect a lesser effect of delays in passenger traffic on the level of performance of the indicator under consideration than in suburban traffic. Accordingly, these two types of traffic (passenger and suburban traffic) should be considered separately when studying statistical data.

The analysis has shown that the number of station stops of passenger trains for embarking and disembarking passengers differ significantly as per railways. Of course, the value of this indicator is influenced by the length of the railways, the number of passenger trains and other conditions. But in general, it reflects the unevenness of the conditions for calculating the value of the indicator γ_{ed}^{pass} as per railways, as shown in Pic. 1, that presents the annual number of station stops of passenger trains at stations of embarkation (disembarkation) on various railways of JSC Russian Railways (2018) and their share by the number of station stops.

To consider the effect of the number of station stops of passenger (suburban) trains for embarking/disembarking passengers as an additional factor for standardisation of indicators γ_{ed}^{pass} and γ_{ed}^{sub}, it is necessary to perform a statistical analysis of the dependencies:

$$\gamma_{ed}^{pass} = F(K_{stop}^{pass}), \quad (1)$$

where K_{stop}^{pass} – the number of station stops of passenger trains.

$$\gamma_{ed}^{sub} = F(K_{stop}^{sub}), \quad (2)$$

where K_{stop}^{sub} – the number of station stops of suburban trains.

The influence of the number of scheduled station stops on punctuality of passenger and suburban trains should be assessed not by the absolute, but by the specific number of station stops per a single departed train.

The more stops dispatched trains have on the route, the greater the influence of the single case of delay on the indicators γ_{ed}^{pass} and γ_{ed}^{sub} should be. Let us call this dependence a *e* factor, the numerical value of which for railways is:

• For passenger trains:

$$e^{pass} = \frac{K_{stop}^{pass}}{n_{dep}^{pass}}, \quad (3)$$

where n_{dep}^{pass} is the number of passenger trains that departed along this railway from departure stations or arrived from neighbouring railways;

K_{stop}^{pass} is the number of stops of passenger trains.

• For suburban trains:

$$e^{sub} = \frac{K_{stop}^{sub}}{n_{dep}^{sub}}, \quad (4)$$

where n_{dep}^{sub} is the number of suburban trains that departed along the railway from departure stations or arrived from neighbouring railways;

K_{stop}^{sub} is the number of station stops of suburban trains.

The number of station stops of passenger ($K_{\text{stop}}^{\text{pass}}$) and suburban ($K_{\text{stop}}^{\text{sub}}$) trains is equal to the number of events available in the reporting forms: arrivals at the embarkation (disembarkation) station for passenger trains and arrival at intermediate stations for suburban trains.

Table 1 shows the reported data on punctuality of passenger trains in 2019, and Table 2 – on punctuality of suburban trains for all accounting indicators adopted by Russian Railways for these types of traffic:

In passenger traffic: departure – γ_{dep}^{pass}; passed stations, i.e., stations of embarkation and disembarkation of passengers – γ_{ed}^{pass}; arrival at the terminal station – γ_{ar}^{pass}.

In suburban traffic: departure of trains from points of departure – γ_{dep}^{sub}; arrival of trains at intermediate points – γ_{ed}^{sub}, arrival of trains at destinations – γ_{ar}^{sub}.

In accordance with the current reporting, the numerical value of e^{pass} factor, i.e., the number of station stops of passenger trains at embarkation and disembarkation stations per a dispatched passenger train is determined by the formula:

$$e^{pass} = \frac{n_{ed}^{pass}}{n_{dep}^{pass}}, \quad (5)$$

where $n_{\text{ed}}^{\text{pass}}$ is number of events of arrival of passenger trains at the station of embarkation (disembarkation) of passengers along the train route;

$n_{\text{dep}}^{\text{pass}}$ is number of events of departure of passenger trains.

For the factor e^{sub}:

$$e^{sub} = \frac{n_{ed}^{sub}}{n_{dep}^{sub}}, \quad (6)$$

where $n_{\text{ed}}^{\text{sub}}$ is number of events of arrival of suburban trains at intermediate points;

Table 1

Punctuality of passenger trains as per railways*

Railways	Departure of passenger trains		Arrival of passenger trains at the station of embarkation/ disembarkation		Arrival of passenger trains at the destination station	
	number of departure events	incl. with delays	number of ed. Arrival events	incl. with delays	number of arrival events	incl. with delays
	n_{dep}^{pass}	$n_{dep}^{pass\ del}$	n_{ed}^{pass}	$n_{ed}^{pass\ del}$	n_{ar}^{pass}	$n_{ar}^{pass\ del}$
Oct.	47980	440	349053	5437	47976	652
Klg	824	–	6051	17	823	2
Mosc.	63675	409	255526	4595	63661	1645
Gork.	13979	49	311192	3465	13956	91
North.	14562	72	442595	6011	14560	398
N-Cauc.	27577	98	568152	8314	27580	328
S-East.	6244	33	284530	3426	6243	48
Priv.	6528	91	137980	2518	6538	161
Kbsh	8498	29	260699	3285	8490	116
Sverd.	9876	27	288156	7131	9903	136
S-Ur.	6395	36	162868	1702	6459	41
W-Sib.	11770	36	251143	2178	11706	79
Kras.	3282	18	137016	4461	3288	63
E-Sib.	3905	29	198649	9640	3908	244
Zab.	4025	54	127258	13417	4014	240
F-East.	8557	56	284008	5430	8553	241
Network	237677	1477	4064876	81027	237658	4485

*Compiled based on statistical reports of DO-13VTs, DO-11 forms (report on punctuality of passenger trains at the stations of embarkation (disembarkation) of passengers).

Table 2

Punctuality of suburban trains as per railways**

Railways	Departure of suburban trains		Arrival of suburban trains at intermediate points		Arrival of suburban trains at destination points	
	number of departure events	incl. with delays	number of arrival events	incl. with delay	number of arrival events	incl. with delay
	n_{sent}^{sub}	$n_{sent}^{sub\ del}$	n_{ed}^{sub}	$n_{ed}^{sub\ del}$	n_{ar}^{sub}	$n_{ar}^{sub\ del}$
Oct.	347983	1521	2058112	18316	347985	3458
Klg	26582	14	83952	70	26582	35
Mosc.	996070	12898	6071131	121486	996286	24930
Gork.	165204	494	988571	5333	165209	1094
North.	56478	337	454682	4963	56114	623
N-Cauc.	129780	549	758919	4990	129780	1128
S-East.	64725	206	318364	1459	64725	355
Priv.	38972	157	301465	2129	38972	357
Kbsh	55787	200	487972	3132	55894	468
Sverd.	120203	964	921782	10002	120567	2204
S-Ur.	39904	129	275180	1545	39539	306
W-Sib.	106554	151	640268	1545	106554	372
Kras.	36187	241	148692	1991	36187	650
E-Sib.	41491	323	311784	5963	41492	1346
Zab.	19114	348	120598	9918	19115	2722
F-East.	40208	209	250616	3259	40209	608
Network	2285242	18741	14192088	196101	2285210	40656

** Compiled based on statistical reports of DO-13VTs, DO-11 forms (report on punctuality of suburban trains at the stations of embarkation (disembarkation) of passengers).

Table 3

Results of calculation of values of e^{pass}, α_{dep}, α_{ed}, α_{ar}, $z_{ed/dep}$, $z_{ar/ed}$ for passenger traffic

Railways	Calculated values					
	e^{pass}	α_{dep}, %	α_{ed}, %	α_{ar}, %	$z_{ed/dep}$	$z_{ar/ed}$
Oct.	7,275	0,92	1,56	1,36	1,70	0,87
Klg	7,343	0,00	0,28	0,24	0,00	0,86
Mosc.	4,013	0,64	1,80	2,58	2,80	1,44
Gork.	22,261	0,35	1,11	0,65	3,18	0,59
North.	30,394	0,49	1,36	2,73	2,75	2,01
N-Cauc.	20,602	0,36	1,46	1,19	4,12	0,81
S-East.	45,569	0,53	1,20	0,77	2,28	0,64
Priv.	21,137	1,39	1,82	2,46	1,31	1,35
Kbsh	30,678	0,34	1,26	1,37	3,69	1,08
Sverd.	29,177	0,27	2,47	1,37	9,05	0,55
S-Ur.	25,468	0,56	1,05	0,63	1,86	0,61
W-Sib.	21,338	0,31	0,87	0,67	2,84	0,78
Kras.	41,748	0,55	3,26	1,92	5,94	0,59
E-Sib.	50,870	0,74	4,85	6,24	6,53	1,29
Zab.	31,617	1,34	10,54	5,98	7,86	0,57
F-East.	33,190	0,65	1,91	2,82	2,92	1,47
Network	17,103	0,62	1,99	1,89	3,21	0,95

n_{dep}^{sub} is number of facts of departure of suburban trains.

The share of delayed trains for each type of train (passenger or suburban) is equal to:

• as per departure of trains:

$$\alpha_{dep} = \frac{n_{dep}^{del}}{n_{dep}} 100 \text{ , \%,} \quad (7)$$

where n_{dep}^{del} is the number of delayed trains (passenger and suburban) at departure;

n_{dep} is the number of events of departure of (passenger or suburban) trains.

• upon arrival at the station of embarkation (disembarkation) or upon arrival at intermediate points:

$$\alpha_{ed} = \frac{n_{ed}^{del}}{n_{ed}} 100 \text{ , \%} \quad (8)$$

where n_{ed}^{del} is the number of delayed passenger trains upon arrival at the station of embarkation (disembarkation) of passenger trains or suburban trains upon arrival at intermediate points;

n_{ed} is the number of events of arrival at the station of embarkation (disembarkation) of passenger trains or at intermediate points of suburban trains.

• upon arrival at the destination station or at terminal points:

$$\alpha_{ar} = \frac{n_{ar}^{del}}{n_{ar}} 100 \text{ , \%} \quad (9)$$

where n_{ar}^{del} is the number of delayed passenger trains upon arrival at the destination station or suburban trains upon arrival at terminal points;

n_{ar} is the number of events of arrival of passenger trains at the destination station or suburban trains at terminal points.

The change in the share of delayed trains for the accounting line «arrival at the station of embarkation (disembarkation)» in comparison with the share for the accounting line «train departure» is determined by the formula (also for suburban trains upon arrival at intermediate points):

$$z_{ed/sent} = \frac{\alpha_{ed}}{\alpha_{sent}} . \quad (10)$$

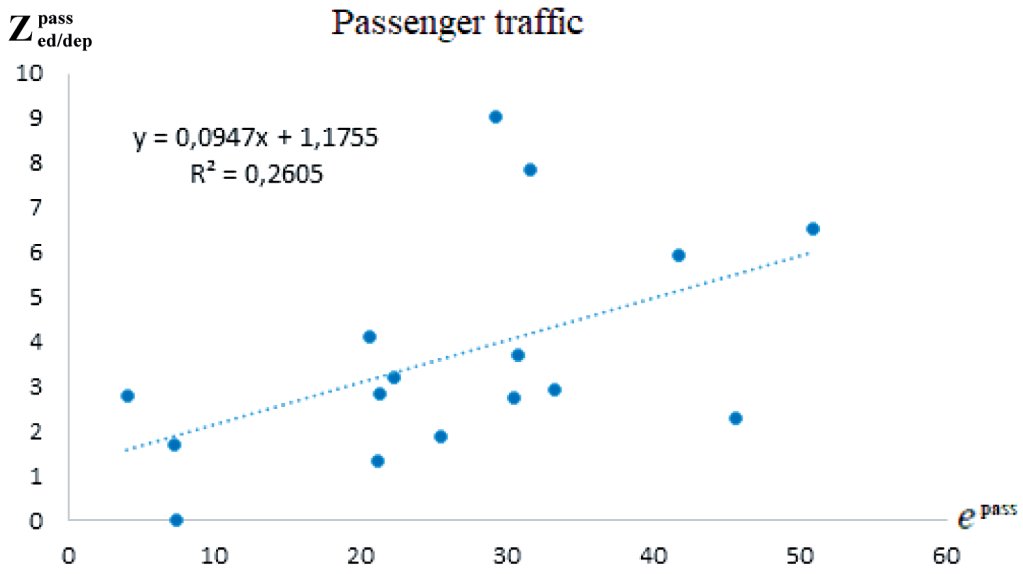
Of interest is also the effect of the share of arrivals at stations of embarkation (disembarkation) on the share of delays on arrival:

$$z_{\frac{ar}{ed}} = \frac{\alpha_{ar}}{\alpha_{ed}} . \quad (11)$$

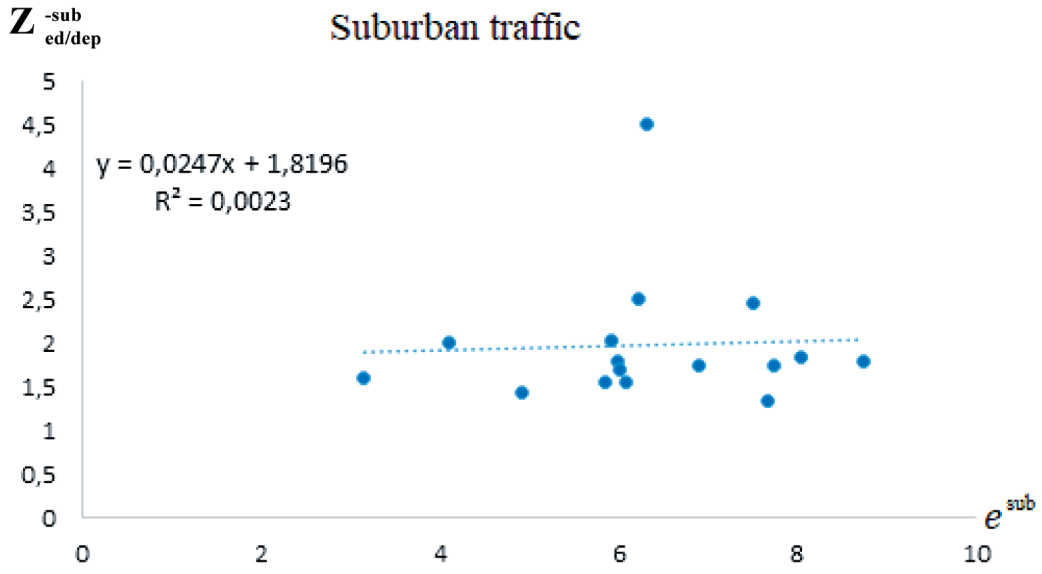
Table 4

Results of calculation of values of e^{sub}, α_{dep}, α_{ed}, α_{ar}, $z_{ed/dep}$, $z_{ar/ed}$ for suburban traffic

Railways	Calculated values					
	e^{sub}	α_{dep}, %	α_{ed}, %	α_{ar}, %	$z_{ed/dep}$	$z_{ar/ed}$
Oct.	5,914	0,44	0,89	0,99	2,02	1,12
Klg	3,158	0,05	0,08	0,13	1,6	1,58
Mosc.	6,095	1,29	2,00	2,50	1,55	1,25
Gork.	5,984	0,30	0,54	0,66	1,80	1,23
North.	8,051	0,60	1,09	1,11	1,83	1,02
N-Cauc.	5,848	0,42	0,66	0,87	1,55	1,32
S-East.	4,919	0,32	0,46	0,55	1,44	1,20
Priv.	7,735	0,40	0,71	0,92	1,75	1,30
Kbsh	8,747	0,36	0,64	0,84	1,79	1,30
Sverd.	7,669	0,80	1,09	1,83	1,35	1,68
S-Ur.	6,896	0,32	0,56	0,77	1,74	1,38
W-Sib.	6,009	0,14	0,24	0,35	1,70	1,45
Kras.	4,109	0,67	1,34	1,80	2,01	1,34
E-Sib.	7,514	0,78	1,91	3,24	2,46	1,70
Zab.	6,309	1,82	8,22	14,24	4,52	1,73
F-East.	6,233	0,52	1,30	1,51	2,50	1,16
Network	6,210	0,82	1,38	1,78	1,68	1,29



Pic. 2. Linear regression of the dependence of the number of delays of passenger trains, moving with station stops along the route, on the number of station stops on the route.



Pic. 3. Linear regression of the dependence of the number of delays for suburban trains, traveling with stops along the route, on the number of stops on the route.

All calculations using formulas (3–11) based on statistical data for 2019 for passenger traffic are summarised in Table 3, and for suburban are shown in Table 4.

The relationship between the number of station stops and the change in the share of delayed trains was verified based on calculation of the determination coefficient (agreement criterion) – R^2 [13], i.e., of variability of $z_{ed/dep}$ (the share of delayed trains in relation to the proportion of trains' departures) in relation to the *e* factor (the ratio of the number of stations stops to the number of departure events). Complete data for all railways for $z_{ed/dep} = f(e)$ in passenger and suburban traffic are shown in Pics. 2 and 3, respectively.

According to the Chaddock scale [13], the value of the coefficient of determination (R^2) in the range from 0 to 0,3 is interpreted as a very weak dependence.

Thus, the number of scheduled station stops along the route has been found to have an insignificant effect on the punctuality of passenger and suburban trains. Consequently, the *e* factor should not be considered when standardising traffic schedule compliance indicators.

For standardising and analysing of the achievement of indicators, the relationship of indicators for departure, transiting and arrival of passenger and suburban trains, which can be established from the statistical data of Tables 1–4, is of interest.

It is worth mentioning high level of punctuality (in %) regarding departures at the integral network level for passenger traffic (99,38 %) and for suburban traffic (99,18 %). Execution of transit punctuality (at intermediate station stops) is reduced, respectively, to 98,01 % and 98,62 %. Punctuality on arrival is close to transit punctuality: 98,22 % and 98,11 %, respectively.

Comparison of these results, achieved on JSC Russian Railways network, with published foreign data, indicates the steady work of domestic railways to comply with the traffic schedule regarding passenger traffic. For example, in the UK in the first half of 2010s [14], according to 23 operators of passenger transportation, the maximum level reached 96,7 %, and 11 operators reached 90 % level, with an average value for all the operators attaining 89,1 %. In 2019 the methodology of assessing punctuality changed. If previously the delay at the destination within 5–10 minutes was only considered, then since 2019 all delays of more

than 1 minute and at all the stations are considered[9]. For example, according to data regarding second quarter of the 2020–2021 financial year 2,2 % of scheduled departures (2645696) were cancelled, and the cancellation score moving annual average was of 3 %. Based on data on 17792303 station stops en route, 79,3 % of them were on time (within 1 minute), and on time moving annual average was of 71, 2 %. 92, 5 % of station stops en route were within 3 minutes delay, so moving annual average was of 87, 2 %. 99,3 % of station stops were within 15 minutes delay interval, so moving annual average was of 98,7 %[10].

The situation in EU countries was different at the beginning and through first half of 2010s. According to the data [15], on some sectors of French railways, passenger trains deviated for more than 10 % from the timetable, but only 29 % of such delays were related to external reasons and problems of infrastructure maintenance. In suburban traffic of Hamburg (Germany), the timetable compliance was 94 % [16], while the transport contract with the company acting as operator of passenger transportation provided for a timetable compliance accuracy of 94,7 %. When assessing the achieved level, the factor of an increase in the volume of traffic in comparison with that provided for in the contract is considered. It became especially difficult to comply with the timetable when the situation complicated due to climatic conditions. It was noted, for example, that on the railways of Germany [17] in the winter months the punctuality could decrease to 77,2 %, and on some days even to 20,5 %.

EU adopted in 2007 (entered into force in 2009) the Regulation (EC) No 1371/2007 of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on rail passengers' rights and obligations, providing particularly compensation [reimbursement, re-routing, etc.] for delay exceeding an hour depending on the type of travel [18, p. 21, Fig. 7]. Since 2017 its revision has been discussed since its goals have not been fully achieved particularly due to exceptions made by most countries regarding part of not-binding obligations [18, p. 5]. The report highlights substantial differences regarding regularity, collected and published data on punctuality in regional and long-distance traffic in EU countries in 2016 [18, p. 24], as well as correlation of satisfaction of passenger with service provided with punctuality.

The highest level of timetable compliance was achieved on the high-speed railways of Japan [19], where the average delay of trains does not exceed one minute. This is achieved through creation of highly reliable infrastructure and rolling stock and constant measures for their current maintenance and repair.

CONCLUSIONS

Based on the analysis using the example of JSC Russian Railways and on the suggested calculation formulas it is possible to draw a conclusion that the relationship between different passenger traffic indicators can be estimated by the value of z values in formulas (10) and (11). For passenger traffic, these values are equal to 3,2 and 0,95; and for suburban traffic they are 1,7 and 1,3.

It follows from this that punctuality is significantly influenced by the conditions of trains running after their departure from the original point.

The main delays within the Russian rail network are associated with failures of technical means of 1–2 categories [according to classification of failures] which cause train delays. The analysis of failures shows that in the absence of control actions on passenger and suburban trains' traffic after the failure, the level of punctuality would have decreased by about 6–7 %, i.e., to the level of 93–94 %, which would adversely affect the image of JSC Russian Railways in the field of passenger transportation. Indeed, this probable significant reduction in punctuality does not occur due to the control actions of the dispatching staff aimed at making the trains get back on the traffic schedule.

Consequently, in modern conditions, it is extremely important to ensure that the dispatching staff performs traffic control operations at sections and, in general, on railways to allow delayed passenger and suburban trains to come back on the traffic schedule. On the Russian railway network, passenger and freight transport is carried out mainly on the same tracks, often with a high level of the transit capacity use. In these conditions, schedules' delays are recovered due to a shift in the schedule of dedicated schedule slots of freight trains, causing deviations from their schedules.

[9] [Electronic resource]: https://media.raildeliverygroup.com/news/every-second-counts-as-rail-firms-use-new-punctuality-measures-to-help-improve-performance. Last accessed 15.01.2021.

[10] [Electronic resource]: https://dataportal.orr.gov.uk/popular-statistics/how-many-trains-arrive-on-time/. Lasst accessed 15.01.2021.

This factor should be considered when standardising the performance indicators of freight train traffic schedules.

The proximity of the values of α_{ed} and α_{ar} indicates the possibility of reducing the number of standardised indicators in passenger traffic. It is advisable to maintain two indicators, for example, the punctuality of departure and of arrival, since the value of γ_{ar} essentially includes the indicator γ_{ed}.

The proposals developed in the article seem expedient to be considered to improve the system of standardisation of punctuality indicators.

REFERENCES

1. Abdul Sukor, Nur Sabahiah; Subramaniam, Moganraj; Masirin, Mohd Idrus Mohd. Punctuality of Intercity Trains and Passengers' Perspective towards Arrival Time Delay. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 2013, Vol. 5, Iss. 6, pp. 1998–2002. DOI: 10.19026/rjaset.5.4741 Last accessed 15.01.2021.

2. Goverde, R. M. P. Punctuality of Railway Operations and Timetable Stability Analysis. PhD thesis. TRAIL Thesis Series no. T2005/10. The Netherlands TRAIL Research School [Netherlands Research School on Transport, Infrastructure and Logistics], 2005, 293 p. [Electronic resource]: http://resolver.tudelft.nl/uuid:a40ae4f1-1732-4bf3-bbf5-fdb8dfd635e7. Last accessed 15.01.2021.

3. Grechi, D., Maggi, E. The importance of punctuality in rail transport investigation on the delay determinants. *European Transport/Trasporti Europei, Eur. Transp. Trasp. Eur.*, 2018, Iss. 70, pp. 1–23. [Electronic resource]: http://www.istiee.unict.it/europeantransport/papers/N70/P02_70_2018.pdf. Last accessed 15.01.2021.

4. Palmqvist, C.-W. Delays and Timetabling for Passenger Trains. Doctoral Dissertation. Lund University, Faculty of Engineering, Department of Technology and Society. Bulletin 317, 2019, 104 p. and annexed papers. [Electronic resource]: https://www.trafikverket.se/contentassets/27b69216a6b845efb48ec7dd2bf049ce/carl-william_palmqvist_komplett.pdf. Last accessed 15.01.2021.

5. Garrisi, G., Cervelló-Pastor, C. Train-Scheduling Optimization Model for Railway Networks with Multiplatform Stations. *Sustainability*, 2020, Vol. 12, Iss. 257. DOI:10.3390/su12010257.

6. Olsson, N. O. E. Train punctuality analysis in a rolling stock perspective. *Transportation Research Procedia*, Vol. 47, pp. 641–647. DOI: 10.1016/j.trpro.2020.03.142. Last accessed 15.01.2021.

7. Nyström, B. Aspects of Improving Punctuality. From Data to Decision in Railway Maintenance. Doctoral thesis. Luleå University of Technology, Department of Civil, Mining and Environmental Engineering, Division of Operation and Maintenance Engineering, 2008, 101 p., appendixes. [Electronic resource]: http://ltu.diva-portal.org/smash/get/diva2:999787/FULLTEXT01.pdf. Last accessed 15.01.2021.

8. Soltani, S. Investigating the Effect of Trackwork on Punctuality of Swedish Railways. Master's thesis in Project Management (Supervisor N. Ollson). Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Economics and Management, Department of Industrial Economics and Technology Management, June 2019. [Electronic resource]: https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2632047/no.ntnu%3Ainspera%3A2523332.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Last accessed 15.01.2021.

9. Økland, A., Olsson, N. O. E. Punctuality development and delay explanation factors on Norwegian railways in the period 2005–2014. *Public Transport*, 2021, Vol. 13, pp. 127–161. Published online 9 June 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s12469-020-00236-y.pdf. Last accessed 15.01.2021.

10. Palmqvist, C.-W., Olsson, N. O. E., Winslott-Hiselius, L. Some influencing factors for passenger train punctuality in Sweden. *International Journal of Prognostics and Health Management* (IJPHM Special Issue on Railway Systems & Mass Transportation), 2017, Vol. 8, Iss. 3. DOI: https://doi.org/10.36001/ijphm.2017.v8i3.2649. Last accessed 15.01.2021.

11. Avdovsky, A. A., Badaev, A. S. [*et al*]. Organisation of railway passenger transportation: a textbook [*Organizatsiya zheleznodorozhnykh passazhirskikh perevozok: Uchebnoe posobie*]. 5th ed. Moscow, Publishing Center «Academy», 2013, 256 p. [Electronic resource]: https://fileskachat.com/download/44528_5b63ab34eae0c771c15f4b269a94a5f8.html. Last accessed 15.01.2021.

12. Mekhedov, M. I., Sotnikov, E. A., Mekhedova, E. A. Development of a system of indicators of punctuality of passenger and suburban trains for railways and the network as a whole [*Razvitie sistemy pokazatelei vypolneniya raspisaniya dvizheniya passazhirskikh i prigorodnykh poezdov dlya zheleznykh dorog i seti v tselom*]. *VNIIZhT Bulletin*, 2020, Iss. 4, pp. 183–190. DOI: https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-4-183-190. Last accessed 15.01.2021.

13. Ishkhanyan, M. V., Karpenko, N. V. Econometrics. Pairwise regression: Study guide [*Ekonometrika. Parnaya regressiya: Ucheb. posobie. Chast' I*]. Moscow, MIIT, 2016, 117 p. [Electronic resource]: https://docplayer.ru/45933548-Kafedra-matematika-m-v-ishhanyan-n-v-karpenko-ekonometrika-chast-i-parnaya-regressiya-uchebnoe-posobie.html. Last accessed 15.01.2021.

14. Sherrat, Ph., Mikes, T. Steady performance decline. *Modern Railways*, 2016, Vol. 73, No. 813, p. 13.

15. Mauvais jours pour la ponctualite des trains. *La Vie du Rail hebdo*, 2017, No. 3621, p. 9. [Electronic resource]: https://www.laviedurail.com/magazines-archives/la-vie-du-rail-hebdomadaire/3621_LVDR/. Last accessed 15.01.2021.

16. Hamburg's S-bahn sets a precision record. *Zheleznye dorogi mira*, 2011, Iss. 2, p. 5. [Electronic resource: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_16365723_51685922.pdf. Last accessed 15.01.2021.

17. Winter Train Delays in Germany. *Zheleznye dorogi mira*, 2011, Iss. 2, p. 2. [Electronic resource]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_16365723_51685922.pdf. Last accessed 15.01.2021.

18. Le suivi de la qualité de service et des droits des passagers dans le transport ferroviaire de vouageurs en Europe et en France. [Electronic resource]: http://autorite-transports.fr/wp-content/uploads/2018/12/le_suivi_de_la_qualite_de_service_et_des_droits_des_passagers_dans_le_transport_ferroviaire_de_voyageurs_en_europe_et_en_france_novembre_2018.pdf. Last accessed 15.01.2021.

19. Punctuality Tokyo style: Modern Railways, February 2019, pp. 76–79. [Electronic resource]: https://www.keymodernrailways.com/article/punctuality-tokyo-style. Last accessed 15.01.2021.

УДК 656.135.073
DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-1-156-173

Международная перевозка крупнотоннажных грузов на примере перевозки компонентов ветроэнергетической установки







Татьяна ПАШКОВА **Надежда ФИЛИППОВА** **Анастасия ПОЗДНЯК**

Пашкова Татьяна Николаевна *– ООО «Генеральная Сюрвейерская Компания», Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта, Москва, Россия.*
Филиппова Надежда Анатольевна *– Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва, Россия.*
Поздняк Анастасия Николаевна *– Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, Москва, Россия*.*

Перевозки крупногабаритных и тяжеловесных грузов требуют решения целого комплекса задач, таких как выбор подходящего способа таможенного оформления и таможенного поста, определение оптимального маршрута, корректный подбор транспортных средств, обеспечение безопасности сопутствующей инфраструктуры и дорожного движения, включая такие аспекты, как ширина проезжей части, высота и ширина мостов, туннелей, линий электропередач, заказ разрешительной документации на проезд по определённым участкам, заказ службы сопровождения при транспортировке крупногабаритных грузов, предоставление режима и условий работы водителям.

Целью являлось предоставление вариантов решения перечисленных вопросов и предложение оптимальных видов транспорта, маршрута доставки крупногабаритных и тяжеловесных грузов.

В статье с использованием примера мультимодальной поставки компонентов ветроэнергетической установки как по иностранной территории, так и внутри Российской Федерации рассмотрены вопросы выбора вида транспорта; индивидуальности маршрутов движения грузов, имеющих нестандартные весогабаритные характеристики; разработки сюрвейерского маршрута и важности предварительной подготовки к перевозке крупногабаритных и тяжеловесных грузов. Выявлены сложности, с которыми сталкиваются участники аналогичных проектов, предварительное решение которых может повысить их эффективность. Показаны особенности осуществления перевозки указанных грузов в Российской Федерации, в том числе в части таможенного регулирования при пересечении границ Российской Федерации многокомпонентными грузами. С учётом того, что в России около 70 % общего объёма перевозок «от двери до двери», в том числе и в перевозках крупногабаритных и тяжеловесных грузов, осуществляется автомобильным транспортом, акцент в значительной мере сделан на сегменте перевозки этим видом транспорта.

Предложен вывод, что основной задачей при разработке маршрута является обеспечение безопасности транспортировки груза. Выделены этапы выбора и расчёта маршрута, согласования разрешительных документов на провоз крупногабаритных и тяжеловесных грузов с различными организациями на различных участках маршрута. Приведены решения для импортного таможенного оформления сложных грузов в разборе и при их неодновременной поставке.

Ключевые слова: транспорт, крупногабаритные и тяжеловесные грузы, автомобильный транспорт, мультимодальная перевозка, транспортировка, ветроэнергетическая установка, сюрвей, сюрвейерский маршрут, сюрвейерские компании.

*Информация об авторах:
Пашкова Татьяна Николаевна – директор московского филиала ООО «Генеральная Сюрвейерская Компания», аспирант ОАО «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта» (ОАО «НИИАТ»), Москва, Россия, t_pashkova@mail.ru.
Филиппова Надежда Анатольевна – доктор технических наук, доцент кафедры автомобильных перевозок Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва, Россия, ✉ madizp@mail.ru.
Поздняк Анастасия Николаевна – магистрант факультета Высшего корпоративного управления и менеджмента Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ (РАНХиГС), Москва, Россия, pozdnyak1104@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 24.09.2020, актуализирована 17.12.2020, принята к публикации 26.02.2021.

For the English text of the article please see p. 165.

ВВЕДЕНИЕ

Общепринято, что к перевозкам крупногабаритных грузов относится перемещение крупногабаритных и тяжеловесных грузов (КТГ), которые превышают предельные нормативные показатели габаритов и весов, установленные на участках следования от начального до конечного пункта[1] или, иными словами, в отдельных регионах, через которые осуществляется перевозка КТГ[2].

До изменения ситуации, вызванной пандемией коронавируса, в соответствии с докладом, подготовленным ResearchAndMarkets, мировой рынок крупногабаритных перевозок оценивался в 2018 году в 233 млрд долл. США с прогнозом его расширения за счёт роста мировой торговли к 2024 году до 315 млрд долл. США[1].

Ожидалось, что на ускоренное развитие перевозки крупногабаритных и тяжеловесных грузов окажут влияние быстрый рост промышленного производства и возрастающее влияние вопросов охраны окружающей среды, а также рост мировой торговли и развитие строительной промышленности. К драйверам роста перевозок КТГ автомобильным транспортом относят рентабельность, грузоподъёмность, развитие новых логистических технологий, обеспечиваемую автомобильным транспортом высокую связанность территорий и развитую маршрутную сеть коммерческих перевозок[1].

Сдерживающими факторами могли стать высокая капиталоёмкость инвестиций и текущих расходов, связанных с КТГ[2], так как перевозки КТГ требуют специального оборудования, техники, сопровождения, мест для размещения грузов, предварительных согласований, а также специальных разрешений и знаний[2].

В последнее время различным аспектам организации перевозок КТГ был посвящён ряд научных публикаций. В числе затрагиваемых тем: обеспечение безопасности, получение специальных разрешений, наложение штрафных санкций за нарушения [1–2], движение по городской улично-дорожной сети [3], оптимальный выбор видов транспорта, способов перевозки [4], маршрутов [5–7].

На мировом рынке перевозок КТГ выделяют регионы государств Азии и Тихого океана, Европы, Северной Америки, Ближнего Востока и Африки, а также Южной Америки[1].

Исследование посвящено анализу специфики организации перевозок КТГ в России.

До марта 2020 г. в России наблюдался устойчивый рост перевозок крупногабаритного и тяжеловесного груза во внутреннем и международном сообщении. Грузовладельцы из разных отраслей имели долгосрочные контракты на поставку инновационного оборудования для модернизации производства либо на поставку техники для горнодобывающей и нефтяной промышленности и т. п. Это было обусловлено экономическими показателями. Ежегодно в России объёмы производства в промышленности, а также в энергетической, добывающей и обрабатывающей отраслях увеличиваются более чем на 2–4 %. Например, в 2018 году объёмы промышленного производства выросли на 2,9 %, добывающей промышленности – на 4,1 %, обрабатывающей – на 2,6 %. В 2019 году сохранилась позитивная динамика роста промышленного производства (2,6 % в годовом выражении). Прирост выпуска добывающей промышленности составил 4,0 %, а обрабатывающей – 1,9 %[3]. Соответственно, увеличивался объём поставляемого оборудования и специализированной техники для обслуживания новых мощностей в данных отраслях. В связи с этим, наблюдался устойчивый рост и востребованность комплексного логистического обслуживания при поставках строительной и специальной техники, промышленного оборудования и других крупногабаритных тяжеловесных грузов.

[1] [Электронный ресурс]: https://www.researchandmarkets.com/reports/4804151/global-oversized-cargo-transportation-market-by. November 2019. Доступ 24.09.2020.

[2] [Электронный ресурс]: https://www.transparencymarketresearch.com/oversized-cargo-transportation-market.html. Доступ 24.09.2021.

[3] Динамика промышленного производства в России: опережающий рост добывающего сектора. Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики. [Электронный ресурс]: https://ac.gov.ru/archive/files/publication/a/23445.pdf. Доступ 24.09.2020.

Эпидемия коронавируса в 2020 году внесла свои коррективы. Некоторые предприятия России либо приостановили свою работу на время пандемии, либо работали на минимальной мощности. Перевозки грузов в международном сообщении были сильно ограничены, тарифы на некоторые направления выросли в разы. Часть контрактов в иностранном сообщении приостановлены по причине форс-мажорных обстоятельств. Так же сильно пострадал и логистический рынок, значительно переориентировав грузовые перевозки на генеральные грузы, снизив объёмы перевозок КТГ.

Вместе с тем, после прекращения действия факторов, связанных с пандемией, следует ожидать возобновления тренда на рост перевозок КТГ.

В этой связи актуальным представляется продолжение изучения особенностей перевозок крупногабаритных и тяжеловесных грузов, связанных не только с использованием специализированного подвижного состава, но и обусловленных необходимостью учёта многих других аспектов, без которых невозможна быстрая и безопасная доставка груза к месту назначения, в том числе в плане обучения персонала [например, 8–9], актуализации методических рекомендаций [10].

Целью исследования, результаты которого излагаются в статье, являются разработка и предоставление вариантов решения перечисленных вопросов и предложение оптимальных видов транспорта, маршрута доставки крупногабаритных и тяжеловесных грузов с учётом общемировых трендов и российских условий.

Одним из них является то, что автомобильный транспорт, относящийся к динамично развивающимся видам транспорта, в России занимает около 70 % от общего объёма перевозок «от двери до двери», в том числе и в КТГ перевозках[4]. Следовательно, несмотря на протяжённость маршрута, основная сухопутная часть выполняется с помощью автомобилей. Большая часть рассматриваемых вопросов в этой связи будет посвящена именно различным аспектам использования этого вида транспорта при КТГ перевозках. При этом для рассмотрения практических аспектов в исследовании использовался пример реализованной перевозки крупногабаритного тяжеловесного груза.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В качестве примера нестандартной перевозки рассмотрим проект по перевозке компонентов ветроэнергетической установки (далее – ВЭУ) в международном сообщении из Германии в Россию.

Исходные данные проекта на момент подписания договора транспортно-экспедиционного обслуживания (ТЭО), предусматривавшего поставку в 2019 году:

1. 60 комплектов ВЭУ в разборе.
2. Два завода-поставщика (города Аурих и Магдебург, Германия).
3. Одно место назначения (Республика Адыгея, Шовгенский район, пос. Зарево).
4. Отгрузка осуществлялась в соответствии с утверждённым еженедельным графиком готовности грузов.
5. Установленные оптимальные сроки доставки грузов от поставщика до клиента.

Перед логистическим оператором, согласно договору ТЭО, стояли следующие задачи:

- организация мультимодальной и прямой перевозки по маршруту Германия–Россия;
- соблюдение оптимального транзитного срока поставки на место назначения;
- соблюдение согласованной договором стоимости перевозки;
- своевременное получение разрешительных документов на перевозку крупногабаритных и тяжеловесных грузов[5];
- организация погрузо-разгрузочных работ на всех этапах перевозки;
- предоставление укрывного материала и защита им грузов от осадков на всем пути;
- предоставление сюрвейерского отчёта на каждом этапе погрузо-разгрузочных работ в пути следования грузов, включая место назначения;
- ежедневный мониторинг местонахождения грузов [11];

[4] Обзор отрасли грузоперевозок в России 2019 г. [Электронный ресурс]: https://www.ey.com/ru_ru/automotive-transportation/ey-transportation-services-2019. Доступ 24.09.2020.

[5] Инструкция по перевозке КТГ автомобильным транспортом по дорогам РФ, утверждённая Минтрансом России и согласованная с МВД РФ. – М., 1996.

• страхование грузов на всём пути следования грузов [12];

• подача транспорта на место загрузки в согласованные сроки.

Ветроэнергетическая установка представляет собой сложный комплекс взаимосвязанного оборудования и сооружений, предназначенный для преобразования энергии ветра в электрическую, тепловую и т.п. Такой подход к получению энергии является экологичным и мало затратным, что в последнее время очень актуально.

Основные части промышленной ветровой установки:

1. Фундамент.
2. Блок оборудования основания башни.
3. Башня.
4. Лестница.
5. Поворотный механизм.
6. Гондола.
7. Электрогенератор.
8. Система слежения за направлением и скоростью ветра.
9. Тормозная система.
10. Трансмиссия.
11. Ступица.
12. Лопасти.
13. Система изменения угла атаки лопасти.
14. Обтекатель.

Состав частей ВЭУ, поставляемый согласно договору ТЭО:

1. Электрогенератор – 46 шт.
2. Гондола – 60 шт.
3. Ступица – 60 шт.
4. Блок оборудования основания башни – 60 шт.

География проекта определялась тем, что каждая часть ВЭУ имеет свои особенности, поэтому маршрут и способ доставки из Германии в Россию был индивидуальным для каждой части в связи с различными весогабаритными [13] характеристиками грузов.

Производство оборудования такого масштаба требует определённых временных затрат и поставляется, в большинстве случаев, по мере готовности. В связи с этим возникает сложность таможенного оформления партии (комплекта) в Российской Федерации по одному коду ТН ВЭД, а не по отдельным кодам товарных позиций в каждой из партий. Этот вопрос, который зачастую вызывает сложность у некоторых перевозчиков и импортёров, решается путём получения классификационного решения (далее – КР). КР – документ, который выдаётся ФТС, позволяющий ввозить оборудование в разобранном виде или несобранным, а также в некомплектном или незавершённом состоянии по единому коду ТН ВЭД, что позволяет существенно облегчить процесс таможенного оформления и устранить риски необоснованного доначисления таможенных платежей. К минусам КР можно отнести невозможность ТО ввоза на разные таможенные посты, что влияет на маршрут перевозки.

Заявление на получение КР подаётся в управление товарной номенклатуры ФТС России только на определённые группы товаров. Исходя из предоставленного описания и документов на товар, ФТС может принять решение о присвоении того или иного кода, но в случае несогласия заявителя с присвоенным кодом, оспорить в судебном порядке такое КР будет возможно только по факту ввоза товара по данному КР.

Конкретно на данный проект КР был получен не позднее 90 дней с момента подачи заявления в ФТС, как и положено по законодательству, и присвоенный код совпал с ожиданиями импортера и других экспертов заявителя и производителя по классификации товара.

Рассмотрим историю перемещения каждого элемента ВЭУ отдельно.

1. Электрогенератор

Габариты (согласно договору ТЭО) – 4500 × 4500 × 2250 мм.

Вес (согласно договору ТЭО) – 56 000 кг.

Весогабаритные характеристики электрогенераторов значительно превышали стандартные, поэтому основная перевозка была морской. На первом этапе генераторы перевозились автотранспортом, грузоподъёмностью 60 т, по маршруту из г. Магдебург в порт Бремен (Германия). При этом генераторы накапливались в порту для формирования минимальной партии из восьми единиц.

Далее фрахтовалось чартерное судно по маршруту «Бремен–Новороссийск»,



Рис. 1. Выгрузка генератора (предоставлено авторами).



Рис. 2. Гондола на погрузке (предоставлено авторами).

на которое грузили генераторы и закрепляли их по разработанным схемам стивидорной компании порта Бремен. По требованию заказчика морская перевозка генераторов должна была осуществляться только в трюмном отсеке и при накрытом тенте.

После выгрузки генераторов в Новороссийском порту проводилось транзитное таможенное оформление. Далее низкорамные тралы с генераторами направлялись на место назначения с обязательным заездом на ТП «Прикубанский» в г. Белореченск Краснодарского края для закрытия транзитного режима.

После окончания таможенных формальностей электрогенераторы направлялись на место доставки, где выгружались силами логистического оператора (рис. 1).

Импортное таможенное оформление проводилось на территории временной зоны таможенного контроля (далее – ВЗТК).

Общее расстояние всего маршрута составило свыше 7 тысяч километров. Транзитное время доставки генераторов составило в среднем 35 дней.

В связи с тем, что весогабаритные параметры генератора превышали нормы генеральных грузов, на каждом этапе автомобильной перевозки (в Германии и России) оформлялись специальные разрешения:

• на участке г. Магдебург–порт Бремен, протяжённостью 320 км, разрешения оформлялись администрацией района Остерхольц. Срок оформления разрешения составлял 10–14 суток;

• на маршруте порт Новороссийск–г. Белореченск – Республика Адыгея, Шовгенский район, пос. Зарево (расстояние около 300 км).

Очень часто перед организаторами перевозки встаёт вопрос о необходимости привлечения автомобилей сопровождения для обеспечения безопасности при перевозке КТГ. Если груз превышает по ширине – 3,5 метра и/или по длине – 24 метра; при этом если ширина груза превышает 4 метра и/или длина подвижного состава 30 метров, то привлекаются машины сопровождения ГИБДД[6]. Для оформления и получения таких разрешений необходимо обращаться к специализированным агентам или напрямую через филиал «Росавтодора» и ГИБДД. Стоит отметить, что в условиях нехватки времени самостоятельное получение указанных выше разрешений зачастую не приносит финансовой выгоды. Поэтому большинство перевозчиков, у которых присутствует нерегулярная работа с КТГ, используют услуги специализированных агентов. Агенты могут быстро получить необходимые разрешения, устранить проблемы и спорные моменты, например, получить свежую информацию о находящихся на ремонте или закрытых участках дороги. Срок оформления разрешений в рассматриваемом случае составил 25–30 суток.

2. Гондола

Габариты (согласно договору ТЭО) – 4886 × 3600 × 3635 мм.

Вес (согласно договору ТЭО) – 21 339 кг.

На момент подписания договора логистический оператор планировал отправку гондол по маршруту г. Аурих, Германия–порт Любек, Германия–порт Бронка, Россия–пос. Зарево, Республика Адыгея, Россия.

Морская перевозка осуществлялась паромным сообщением по две единицы гондол на одном мафи-трейлере до порта Бронка в г. Санкт-Петербург. После оформления транзитных таможенных формальностей гондолы грузились на автотранспорт грузоподъёмностью 60 т и отправлялись на место назначения в Республику Адыгея.

---

[6] Федеральный закон «О государственном контроле за осуществлением международных автомобильных перевозок и об ответственности за нарушение порядка их выполнения» от 24.07.1998 № 127-ФЗ.

Такой маршрут позволял в минимальные сроки доставить гондолы до места выгрузки. Общее расстояние маршрута – свыше 4000 км. Транзитный срок составил около 28 дней.

После отправки первой партии гондол через порт Бронка оператор принял решение перевозить гондолы через порт Новороссийск, так как в данной партии обнаружили две повреждённые гондолы при погрузо-разгрузочных работах в российском порту. Данное решение в дальнейшем помогло оптимизировать затраты и минимизировать риски на пути доставки.

Последствия изменения маршрута привели к тому, что в срочном порядке было осуществлено оформление новых разрешительных документов на территории Германии и России.

Протяжённость нового маршрута составила свыше 7000 км, а транзитный срок – около 35 дней.

При осуществлении подобных проектов на каждом этапе погрузо-разгрузочных работ рекомендуется организовывать проведение сюрвейерского контроля. Данный подход помогает в короткие сроки вычислить тот самый бизнес-процесс, в ходе которого необходимы мероприятия для снижения риска повреждения груза. А риски, как известно, – это самая высокая часть потенциальных расходов.

Существует огромное количество сюрвейерских компаний, которые профессионально предоставляют важнейшую услугу для КТГ. Это так называемый сюрвей маршрута перевозки и других условий, связанных с сезоном проведения перевозки, предполагаемой погоды, ремонтных или строительных работ на пути следования, надёжности и качественного состояния дороги, наличия возможных препятствий, таких как линии электропередач, мостов, переправ, резких спусков и подъёмов, крутых поворотов под острым углом и т.д.

Сюрвей маршрута – это неотъемлемая часть любого КТГ проекта, которая экономит огромное количество средств и снижает риски. В договоре на проведение сюрвея маршрута предусматривается передача права суброгации с перевозчика на сюрвейерскую компанию, а это один из важнейших тактических маневров для снижения рисков. Сюрвейерская компания берёт на себя обязательство проработать маршрут и, соответственно, возлагает на себя ответственность за надёжность данного маршрута. В случае наступления страхового случая на маршруте, страховая компания может направить претензию, в том числе и в сюрвейерскую компанию, составившую маршрут, а не только к конечному перевозчику, если страховой случай произошёл по причине некачественного составления маршрута, а не, например, ошибок водителя, перевозившего груз.



Рис. 3. Крепление гондолы на судне (предоставлено авторами).

3. Ступица

Габариты (согласно договору ТЭО) – 3353 х 3326 х 3200 мм.

Вес (согласно договору ТЭО) – 24 939 кг.

Доставка ступиц осуществлялась двумя способами. Первый морской маршрут проходил из порта Бремен (Германия) в порт Новороссийск, а второй – из порта Травемюнде (Германия) в порт Лиепая (Латвия). Ступицы грузились на низкорамные тралы в г. Аурих и направлялись в порт Травемюнде. Далее прицепы с грузом грузились на паром до порта Лиепая, где к прицепам крепились тягачи и отправлялись в Адыгею.

Длина всего маршрута составила около 3800 км, а время доставки составило 20–25 дней.

Второй способ доставки позволил минимизировать риски повреждения груза при погрузо-разгрузочных работах в портах. А за счёт того, что основная часть перевозки была осуществлена на автомобильном транспорте, стало возможным значительно повлиять на транзитный срок, который сократился на 10–15 дней. В связи с этим большинство



Рис. 4. Погрузо-разгрузочные работы ступиц (предоставлено авторами).

ступиц было перевезено к месту назначения вторым способом.

4. Блок оборудования основания башни

Габариты (согласно договору ТЭО) – 3580 х 2300 х 2120 мм.

Вес (согласно договору ТЭО) – 2 100 кг.

Весогабаритные характеристики блока оборудования основания башни являлись стандартными, поэтому доставка данного груза осуществлялась еврофурами грузоподъёмностью до 20 т. Данная перевозка в проекте была менее трудозатратной, но в ходе первых поставок была разработана рациональная схема загрузки и крепления в транспортном средстве, чтобы оптимизировать количество транспорта, а также подобрать качественное крепление груза. Распределение груза в транспорте играет важную роль в перевозке, так как это отражается на расходах.

Расстояние составило 3 400 км. Транзитное время – 7–8 дней.

ПРОБЛЕМНЫЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТА

1. Отклонение от заявленных в договоре ТЭО весогабаритных характеристик грузов.

В табл. 1 выделены серым фоном весогабаритные характеристики грузов, отклонения которых в большую сторону обнаружились на момент первых отгрузок частей ВЭУ. Это часто происходит с производителями, занимающимися изготовлением уникального, не серийного оборудования. В данной ситуации оператор предпринял оперативные меры по корректировке разрешительных документов с учётом новых данных, а также были пересмотрены вид и количество транспорта.

Вся информация по дополнительному анализу новых весогабаритных параметров в таком случае передаётся заказчику проекта, с ним также согласовываются все дополнительные операции по организации перевозки в связи с возможными дополнительными затратами и увеличением транзитного срока поставки.

2. Несоблюдение графика поставки частей ВЭУ и их отгрузки.

Подписанный график в договоре ТЭО по готовности частей ВЭУ не соблюдался производителем, и вместо еженедельных отгрузок с заводов поставки были неравномерны и непредсказуемы. В связи с этим логистический оператор в оперативном порядке принимал решения по вывозу частей ВЭУ на дополнительные накопительные площадки после поступления информации о готовых комплектах.

Из-за несвоевременных отгрузок с заводов срок проекта увеличился на три месяца, что повлияло на все бизнес-процессы цепи поставки частей ВЭУ, приведя к дополнительным расходам. Например, оператору потребовалось оформлять разрешительную документация на провоз КТГ и продлить свои обязательства на конечном этапе в пос. Зарево, связанный с работой крановой техники.

3. Форс-мажорные обстоятельства.

В процессе реализации проекта было незапланированное закрытие участка дороги в Германии по маршруту от поставщиков в порт Бремен. Для решения данного вопроса необходимо было получить обновлённые разрешительные документы на альтернативный маршрут на проезд КТГ при автомобильной доставке [14]. На урегулирование данных формальностей ушло дополнительно около 14 дней. В это время грузы накапливались на складе поставщика и потом массово вывозились в порт Бремен.

4. Страховой случай.

В процессе реализации проекта был зафиксирован единственный страховой случай – повреждение двух гондол в порту Бронка. Для определения последствий: возможность восстановления гондол в России или возврат гондол поставщику в Германию, был организован сюрвейерский осмотр двумя независимыми компаниями. Результат



Рис. 5. Погрузка и крепление площадки в транспортном средстве (предоставлено авторами).

Таблица 1

Весогабаритные характеристики частей ВЭУ (план-факт)

Наименование компонента	Габариты по договору ТЭО, мм (Д × Ш × В)	Исходный вес по договору ТЭО, кг	Фактические габариты, мм (Д × Ш × В)	Фактический вес, кг
Генератор	**4500** x 4500 x **2250**	**56 000**	**4600** x 4480 x **2500**	**56 700**
Гондола	4900 x 3600 x 3650	21 339	4900 x 3600 x 3650	20 500
Ступица	**3353** x **3326** x 3200	24 939	**3424** x **3424** x 3200	20 500
Площадка основания башни	3580 x **2300** x **2120**	**2 100**	3450 x **2400** x **2200**	**2 500**

осмотра показал, что повреждены корпусы гондол и их ремонт возможен силами российских специалистов на площадке монтажа ветряка. Стоит отметить, что благодаря своевременному анализу повреждения груза не потребовалось организовывать возврат гондол на завод в Германии и, тем самым, удалось избежать дополнительных таможенных процедур, затрат времени на восстановление оборудования, значительных дополнительных расходов и, конечно, задержек в монтаже комплекса ВЭУ.

5. Сопроводительные документы.

В связи с тем, что части ВЭУ проходили таможенное оформление по КР на один комплект ветряка, все сопроводительные документы были согласованы в соответствии с требованиями Таможенного кодекса и тщательно проверены до пересечения границы России. Логистический оператор внимательно отслеживал все отметки таможенных органов при оформлении режима «Внутренний таможенный транзит» и простановку штампов на границе Российской Федерации. На строительной площадке заказчика была организована временная зона таможенного контроля, где поступающие комплекты ВЭУ проходили импортное таможенное оформление в соответствии с КР.

ВЫВОДЫ

На примере данного проекта стоит отметить, что была проведена большая подготовительная работа, и, несмотря на возникающие непредвиденные сложности, все грузы были успешно доставлены в рамках согласованных условий, согласно договору ТЭО.

Большинство КТГ проектов логистические операторы получают в результате победы в тендере, где согласовать или скорректировать стоимость или сроки реальной поставки невозможно, так же, как и некоторые другие условия [2], от которых зависит надёжность и скорость транспортировки.

Исходя из приведённого выше анализа перевозки КТГ, можно сделать вывод, что большинство возникающих проблем име-

ет системный характер и предсказуемость. Но по причине уникальности каждого проекта накопление необходимой информационной базы у большинства логистических операторов происходит медленно, так как общее число перевозок КТГ крайне мало на общем фоне генеральных грузов. Как следствие, специализирующиеся на перевозках КТГ компании работают в данной области долгие годы. Остальные логистические компании довольно редко получают такую возможность, тем самым не позволяя данному сервису серьёзно прогрессировать внутри компании.

Привлечение сторонних компаний для выполнения узкоспециализированных задач, таких как сюрвей маршрута, получение разрешений, согласование возможности и необходимости получения КР, привлечение специалистов (сюрвейеров) для контроля и создания условий для добросовестной работы терминальных операторов и служб, выполняющих функции выгрузки, перегрузки, проверки состояния упаковки и самого груза и т.д., – это необходимый элемент для успешного выполнения любого КТГ проекта, снижения рисков и соблюдения сроков.

Для реализации сложных нестандартных перевозок необходимы глубокие знания и опыт – анализ опыта перевозок КТГ и существующих транспортных средств, применяемых для транспортировки негабаритных грузов, исследования влияния внешних и внутренних факторов на процесс перевозки, анализа нормативно-правовых документов и возможности предложения правок в документы, разработки методики выбора оптимального транспортного средства для конкретного груза по маршруту с учётом транспортной инфраструктуры, разработки алгоритма определения класса габаритности. В рассмотренном случае в ходе проекта были предложены варианты оптимизации мультимодальной перевозки КТГ в международном сообщении, разработки методики выбора подрядчиков для организации мультимодальной перевозки КТГ, разработки критериев качества при организации перевозки КТГ.

Важно отметить, что перевозка КТГ грузов является одним из самых сложных направлений логистики в международном сообщении. При её организации требуется тесное взаимодействие с множеством отраслей экономики, промышленности, торговли. И тех, кто все-таки решил связать свою профессиональную деятельность с этой не простой, но очень важной областью, хочется поддержать цитатой великого французского политика Шарля де Голля: «Всегда выбирайте самый трудный путь – там вы не встретите конкурентов».

ЛИТЕРАТУРА

1. Macioszek, E. Conditions of oversize cargo transport. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport, 2019, Vol. 102, pp. 109–117. ISSN: 0209-3324. DOI: https://doi.org/10.20858/sjsutst.2019.102.9. Доступ 24.09.2020.

2. Macioszek, E. Oversize Cargo Transport in Road Transport – Problems and Issues. Scientific Journal of Silesian University of Technology, Series Transport, 2020, Vol. 108 (108), pp. 133–140. DOI:10.20858/sjsutst.2020.108.12. Доступ 17.12.2020.

3. Wolnowska, A. E., Konicki, W. Multi-Criterial Analysis of Oversize Cargo Transport through the City, using the AHP Method. Transportation Research Procedia, 2019, Vol. 39, pp. 614–623. DOI: 10.1016/j.trpro.2019.06.063. Доступ 24.09.2020.

4. Petraška A., Čižiūnienė, K., Prentkovskis, O., Jarašūnienė, A. Methodology of Selection of Heavy and Oversized Freight Transportation System. Transport and Telecommunication, 2018, Vol. 19, No. 1, pp. 45–58. DOI 10.2478/ttj-2018-0005. Доступ 24.09.2020.

5. Bazaras, D., Batarliene, N., Palšaitis, R., Petraška, A. Optimal Road Selection Criteria System for Oversize Goods Transportation. The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, 2013, Vol. 8(1), pp. 19–24, DOI: 10.3846/bjrbe.2013.03.

6. Zhou, Yan Mei; Zeng, Chuan Hua; Xian, Fei. Study on Highway Transportation Route Selection of Heavy and Oversize Cargo. Applied Mechanics and Materials, 2015, Vol. 730, pp. 25–28. DOI: https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.730.25. Доступ 24.09.2020.

7. Petraška, A., Čižiūnienė, K., Jarašūnienė, A., Maruschak, P., Prentkovskis, O. Algorithm for the Assessment of Heavyweight and Oversize Cargo Transportation Routes. Journal of Business Economics and Management, 2017, Vol. 18, Iss. 6, pp. 1098–1114. DOI: https://doi.org/10.3846/16111699.2017.1334229. Доступ 24.09.2020.

8. Гуджоян О. П., Троицкая Н. А. Перевозка специфических грузов. Учебник. – М.: Транспорт, 2001. – 160 с.

9. Троицкая Н. А., Поносов Ю. К. Оценка систем транспортировки крупногабаритных тяжеловесных грузов: Учеб. пособие. – М.: МАДИ, 1988. – 65 с.

10. Троицкая Н. А. Методические рекомендации по перевозке крупногабаритных тяжеловесных грузов в международном сообщении. – М.: АСМАП, 1997. – 96 с.

11. Создание информационно-поисковой системы (ИПС) по перевозкам крупногабаритных тяжеловесных грузов (КТГ) и выработка требований по параметрам специализированного подвижного состава (СПС). – М.: МАДИ, 1990. – 21 с.

12. Смирнов В. В. Страховая защита от рисков при реализации продукции по базисам поставки. – М.: Анкил, 1997. – 340 с.

13. Степанов А. П., Возлинский В. И. и др. Эксплуатация и безопасность движения автопоездов тяжеловозов. – М.: Транспорт, 1998. – 256 с. – С. 151–158.

14. Зибров И. А. Анализ приспособленности АТС к транспортировке КТГ через мостовые сооружения // Актуальные проблемы современной науки. – 2002. – № 5. – С. 28.

DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-1-156-173

International Transportation of Heavy and Oversized Cargo: Example of Haulage of Components of Wind Power Plant





Tatiana N. PASHKOVA **Nadezhda A. FILIPPOVA** **Anastasia N. POZDNYAK**

Pashkova, Tatiana N., *General Survey Company LLC, Scientific and Research Institute of Motor Transport, Moscow, Russia.*
Filippova, Nadezhda A., *Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Moscow, Russia.*
Pozdnyak, Anastasia N., *Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russia *.*

ABSTRACT

Heavy and oversized transportation requires solving a whole range of tasks, such as choosing a suitable method of customs clearance and of a customs post, determining the optimal route, correctly selecting vehicles, ensuring safety of related infrastructure, and road traffic, such as the width of the carriageway, height and width of bridges, tunnels, power lines, ordering permits for travel on certain road segments, ordering heavy and oversized cargo escorting service, providing the special labour regime and working conditions for drivers.

The objective of the study was to provide options for solving the listed issues and offer choice of best modes of transport, routes of delivery of heavy and oversized cargo.

This article based on the example of multimodal supply of components of wind power plant through the Russian national and foreign territory analyses issues of choosing a mode of transport for multimodal transportation of heavy and oversized cargo; of individuality of routes for movement of goods with non-standard weight and size characteristics; of developing a survey route, and of preliminary preparing transportation of heavy and oversized cargo. Identification of difficulties faced by participants in similar projects, helped to reveal preliminary solutions which might increase the efficiency of any individual transportation. Described features of transportation of this kind of cargo in Russia focused particularly on customs regulations governing crossing of the border of the Russian Federation by multicomponent goods. Since about 70 % of total «door-to-door» transportation, comprising haulage of heavy and oversized cargo, are performed by road transport, the article highlights the road transportation segment.

The conclusion suggests that the main task when developing a route is to ensure safety of cargo transportation. The identified phases comprise choosing and calculating the route, the coordination of obtaining permits for transportation of heavy and oversized cargo with various organisations on different segments of the route. Solutions for import customs clearance of multicomponent disassembled cargo, particularly in case of non-simultaneous delivery, are examined.

Keywords: transport, heavy and oversized cargo, road transport, multimodal transportation, transportation, wind power plant, survey, survey route, survey companies.

*Information about the authors:
Pashkova, Tatiana N. – director of Moscow branch of General Survey Company LLC, Ph.D. student of JSC Scientific and Research Institute of Motor Transport (JSC NIIAT), Moscow, Russia, t_pashkova@mail.ru.
Filippova, Nadezhda A. – D.Sc. (Eng), Associate Professor at the Department of Road Transportation of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia, ✉ madizp@mail.ru.
Pozdnyak, Anastasia N. – Master's student at the faculty of Higher Corporate Governance and Management of Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russia, pozdnyak1104@mail.ru.

Article received 24.09.2020, revised 17.12.2020, accepted 26.02.2021.

For the original Russian text of the article please see p. 156.

INTRODUCTION

It is commonly accepted that oversized cargo transportation refers to moving overweight and bulky loads that exceed the authorized weight limits and dimensions from a point of origin to a desired destination[1] or, in other words, in a specific region via which transportation of cargo takes place[2].

Before changes in situation following Coronavirus pandemics the global oversized cargo transportation market, according to ResearchAndMarkets, stood at around $ 233 billion in 2018 and was projected to cross $ 315 billion by 2024 on account of increasing global trade[1].

Rapid industrialisation and increasing environmental issues, as well as increase in trade policies across the globe and expansion of the construction industry were expected to accelerate the oversized cargo transportation market. Major factors driving the growth of the market for oversized cargo transportation in the road transportation category comprise the cost-effectiveness, high loading capacity, technological advancements in logistics industry and improved connectivity of road transportation because of development of trade routes[1].

Restraining factors comprise higher capital investments and maintenance of overall oversized cargo transportation since it requires special equipment, machinery, escort, cargo space, advance agreements, permits, and knowledge[2].

Many research publications have been recently dedicated to different aspects of heavy and oversized transportation. The topics have referred to safety provisions, obtaining special permits, penalty for violations [1–2], transportation through road-and-street network [3], optimal choice of modes of transport, transportation mode [4], and selection of routes [5–7].

Regionally, the global oversized cargo transportation market is categorised into Asia-Pacific, Europe, North America, Middle East & Africa and South America[1].

The study is dedicated to the features of organisation of heavy and oversized cargo in Russia.

Until March 2020, there was a steady growth in transportation of heavy and oversized cargo in domestic and international traffic. Cargo owners from various industries had long-term contracts for supply of innovative equipment for modernisation of production or for supply of equipment for mining and oil industries, etc. This was determined by economic growth rates. Russian industrial production, energy, mining, and manufacturing industries were increasing yearly by more than 2–4 %. For example, in 2018, industrial production increased by 2,9 %, mining industry – by 4,1 %, and manufacturing – by 2,6 %. In 2019, the positive dynamics of industrial production growth continued (2,6 % in annual terms). The increase in the output of the mining industry was 4,0 %, and the manufacturing industry – 1,9 %[3]. Accordingly, the volume of supplied machinery and specialised equipment for servicing new capacities in these industries was increasing resulted in a steady growth and demand for integrated logistics services for supply of construction and special equipment, industrial machinery, and other heavy and oversized cargo.

The coronavirus pandemic in 2020 changed the situation. Some Russian enterprises either suspended their work during the pandemic or worked at minimum capacity. Transportation of goods in international traffic was severely restrained, while tariffs on transportation in some directions increased significantly. Some contracts in foreign traffic were suspended due to force majeure. The logistics market also suffered greatly, significantly reorienting freight haulage to transport general cargo, reducing the volume of heavy and oversized transportation.

Nevertheless, after the termination of the impact of pandemic factors the trend towards the growth of heavy and oversized transportation is expected to resume.

Hence, it is relevant to continue studying features of heavy and oversized transportation related not only to the use of specialised

[1] [Electronic resource]: https://www.researchandmarkets.com/reports/4804151/global-oversized-cargo-transportation-market-by. November 2019. Last accessed 24.09.2020.

[2] [Electronic resource]: https://www.transparencymarketresearch.com/oversized-cargo-transportation-market.html. Last accessed 24.09.2020.

[3] Dynamics of industrial production in Russia: outstripping growth in the mining sector [*Dinamika promyshlennogo proizvodstva v Rossii: operezhayushchiu rost dobyvayushchego sektora*]. Bulletin on current trends in the Russian economy. [Electronic resource]: https://ac.gov.ru/archive/files/publication/a/23445.pdf. Last accessed 24.09.2020.

vehicles but also based on the necessity to consider many other aspects allowing prompt and safe supply of cargo to destination comprising training of employees (e.g., [8–9]), updating methods and relevant recommendations [10].

The objective of the study was to present options for solving the listed issues and offer choice of best modes of transport, routes of delivery of heavy and oversized cargo considering both global trends and Russian conditions.

Important condition is that dynamically developing road transport occupies about 70 % of the total market of «door-to-door» transportation, comprising haulage of heavy and oversized cargo[4]. So, regardless of the total length of the route its main inland part is performed by trucks. Based on that, most issues will regard different aspects of road transportation of heavy and oversized cargo. To consider practical aspects the study used an example of performed transportation of heavy and oversized cargo.

RESULTS

Initial data and customs issues

Let us consider the project of transportation of components of a Wind Power Plant (WPP) in international transportation from Germany to Russia as an example of transportation of abnormal cargo.

Initial data of the project at the time of signing the contract of freight forwarding services (FFS) provided for supply in 2019 of:

1. 60 sets of WPP disassembled.
2. Two supplier factories (the cities of Aurich and Magdeburg, Germany).
3. Single destination (Republic of Adygea, Shovgen district, Zarevo settlement).
4. Shipment was carried out in accordance with the approved weekly schedule of cargo readiness.
5. Optimal terms for delivery of goods from the supplier to the client were established.

The logistics operator, according to FFS contract, had the following tasks:

• Organisation of multimodal and direct transportation along the route Germany–Russia.

• Observance of the optimal transit time for delivery to the destination.

• Compliance with the agreed contract cost of transportation.

• Timely obtaining of permits for transportation of oversized and heavy cargo[5].

• Organisation of loading and unloading operations at all stages of transportation.

• Provision of covering material and protection of cargoes from precipitation along the entire route.

• Providing a surveyor report at each phase of loading and unloading operations along the route, including the place of destination.

• Daily monitoring of location positioning of goods [11].

• Cargo insurance along the entire route [12].

• Supply of vehicles to the place of loading within the agreed time frame.

The wind power plant is a complex of interconnected equipment and structures, which is designed to convert wind energy into electricity, heat, etc. This approach to power production is environmentally friendly and low cost, which has recently become very important.

The main components of an industrial wind plant:

1. Foundation.
2. Tower footing equipment block.
3. Tower.
4. Ladder.
5. Swivel mechanism.
6. Nacelle.
7. Electric generator.
8. Wind monitoring system.
9. Brake.
10. Transmission.
11. Hub.
12. Blades.
13. Pitch control system.
14. Fairing.

The set of WPP components supplied in accordance with FFS contract comprised:

1. Electric generator – 46 pcs.
2. Nacelle– 60 pcs.
3. Hub – 60 pcs.

[4] Overview of the freight industry in Russia in 2019. [Electronic resource]: https://www.ey.com/ru_ru/automotive-transportation/ey-transportation-services-2019. Last accessed 24.09.2020.

[5] Instructions for transportation of heavy and oversized cargo by road on the roads of the Russian Federation, approved by the Ministry of Transport of Russia and agreed with the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation [*Instruktsiya po perevozke KTG avtomobilnym transportom po dorogam RF, utverzhdennaya Mintransom Rossii i soglasovannaya s MVD RF*]. Moscow, 1996.

4. Block of equipment to be situated at the tower foundation – 60 pcs.

Each part of WPP has its own features, so both the route and method of delivery from Germany to Russia were individual for each component due to the different weight and size characteristics of cargo [13].

Production of equipment of this scale requires a certain amount of time and is delivered, in most cases as soon as it is ready. Hence, this results in a complexity of customs clearance while importing in the Russian Federation of a batch (set) using a single commodity code [as by commodity nomenclature of foreign economic activity of Eurasian Economic Union], and not separate codes of commodity items in each batch. This issue, which often causes difficulty for some carriers and importers, is resolved by obtaining a classification decision (hereinafter – CD). CD is a document issued by Federal Customs Service, allowing import of disassembled or unassembled equipment, as well as a part of complete batch, or a part of continued supply, using a single commodity code, which makes it possible to significantly facilitate the process of customs clearance and eliminate the risks of unjustified additional charging of customs payments. The disadvantages of CD are associated with impossibility of customs clearance of import through different customs posts, which affects the route of transportation.

An application for a CD is submitted to the Commodity Nomenclature Department of the Federal Customs Service of Russia (FCS) only for identified groups of goods. Based on the provided description and documents for the goods, FCS may decide to assign a particular single code but if the applicant disagrees with the assigned code, it is only possible to put the cause before the court after importing goods under this CD.

Specifically, for this project, CD was received no later than 90 days from the date of filing an application with FCS, as required by law, and the assigned code coincided with the expectations of the importer and other experts of the applicant and of the manufacturer on classification of goods.

Features of the transportation of WPP elements

Let's consider the history of transportation of each element of WPP separately.

1. Electric generator

Dimensions (according to FFS contract): 4500 × 4500 × 2250 mm.

Weight (according to FFS contract): 56000 kg.

Weight and size characteristics of electric generators significantly exceeded the standard ones, so the main transportation was by sea. At the first phase, generators were transported by road, with a carrying capacity of 60 tons, along the route from Magdeburg to the port of Bremen (Germany). The generators were accumulated in the port to form a minimum batch of eight units.

Then a charter vessel was affreighted for the route Bremen–Novorossiysk. The generators were loaded and secured aboard the ship according to the developed schemes of the stevedoring company of the port of Bremen. At the request of the customer, sea transportation of generators was to be carried out only in the cargo hold (compartment) and with a spread awning.

After the generators were unloaded at Novorossiysk port, transit customs clearance was carried out. Then low-frame trawls with generators went to their destination with a mandatory stop at Prikubansky Customs post in the city of Belorechensk, Krasnodar region, to terminate the transit customs mode.

After completion of customs formalities, the power generators were sent to the place of delivery, where they were unloaded by the logistic operator (Pic. 1).

Import customs clearance was carried out on the territory of the temporary customs control zone (hereinafter – TCCZ).

Total length of the entire route was over 7 thousand kilometres. Transit time averaged 35 days.

As weight and dimensions of the generator exceeded the standards of general cargo, at each stage of road transportation (in Germany and in Russia), special permits were necessary[5]:

• On the section Magdeburg–Bremen port, 320 km long (permits were issued by the administration of the district of Osterholz. The permits were issued within 10–14 days after application).

• On the route the port of Novorossiysk–Belorechensk–Republic of Adygea, Shovgen district, Zarevo village (distance about 300 km).

Very often, logistics operators of transportation face the need to attract escort vehicles to ensure safety during transportation

of heavy and oversized cargo. It is necessary to apply for traffic police escort vehicles if the load exceeds 3,5 meters in width and/or 24 meters in length; if the width of the cargo exceeds 4 meters and/or length of a vehicle is 30 meters[6]. To apply for such permits and to obtain them, it is necessary to contact specialised agents or directly through the local branch of Rosavtodor [Russian Federal Road Agency] and the traffic police. It is worth noting that in the face of time constraints, obtaining the above permits on your own often does not bring financial benefits. Therefore, most carriers who do not regularly work with heavy and oversized cargo usually use the services of specialised agents. Agents can quickly obtain necessary approvals, troubleshoot issues and disputes, for example, get the latest information on road sections that are being repaired or closed. Permits were issued within 25–30 days.

2. Nacelle

Dimensions (according to FFS contract): 4886 × 3600 × 3635 mm.

Weight (according to FFS contract): 21 339 kg.

At the time of signing the contract, the logistics operator was planning to send gondolas along the route Aurich, Germany–Lubeck port, Germany–Bronka port, Russia–Zarevo village, Republic of Adygea, Russia/

Sea transportation was carried out by ferry service, two nacelles on one mafi (roll) trailer to the port of Bronka in St. Petersburg. After passing transit customs formalities, nacelles were loaded onto vehicles with a carrying capacity of 60 tons and departed to their destination in the Republic of Adygea.

This route made it possible to deliver nacelles to the unloading point in the shortest possible time. The total distance of the route is over 4000 km. Transit time was about 28 days.

After the first batch of gondolas was dispatched through the port of Bronka, the operator decided to transport nacelles through the port of Novorossiysk, since two nacelles in the first batch were damaged during loading and unloading operations in the Russian port. This solution further helped to optimise costs and minimise risks on the delivery route.



Pic. 1. Unloading the generator (provided by the authors).



Pic. 2. Nacelle loading (provided by the authors).

The consequences of the change in the route led to urgent application for new permits in Germany and Russia.

The length of the new route was over 7000 km, and the transit period was about 35 days.

When implementing such projects, it is recommended to organise a surveyor control at each phase of loading and unloading operations. This approach helps to find in a short time a phase of business process where measures are needed to reduce the risk of damage to the cargo. And the risks, as it is known, are the highest part of the potential costs.

[6] Federal law «On state control over implementation of international road transportation and on liability for violation of the order of their implementation» of 24.07.1998 No. 127-FZ [*Federalniy zakon «O gosudarstvennom kontrole za osushchestvleniem mezhdunarodnykh avtomobilnykh perevozok i ob otvetstvennosti za narushenie poryadka ikh vypolneniya» ot om 24.07.1998 № 127-FZ*].



Pic. 3. Securing the nacelle on the vessel (provided by the authors).

There are a huge number of survey companies that professionally provide a service that is essential for heavy and oversized transportation. This is the so-called survey of the route of transportation and of other conditions related to the season of transportation, expected weather, repair or construction works on the route, safety and quality of the road, presence of possible obstacles such as power lines, bridges, crossings, sharp descents and climbs, sharp turns at an acute angle, etc.

Route survey is an integral part of any heavy and oversized transportation project, which saves a huge amount of money and reduces risks. The contract for the route survey provides for the transfer of the subrogation right from the carrier to the survey company, and this is one of the most important tactical manoeuvres to reduce risks. The survey company undertakes to work out the route, and, accordingly, assumes responsibility for reliability of this route. In case of an insured event on the route, the insurance company may send a claim not only to the final carrier but also to the survey company that compiled the route, if the insured event occurred due to poor-quality routing, and not, e.g., to errors of the driver who transported the cargo.

3. Hub

Dimensions (according to FFS contract): 3353 x 3326 x 3200 mm.

Weight (according to FFS contract): 24939 kg.

The hubs were delivered through two routes. The sea transportation with the first route passed from the port of Bremen to the port of Novorossiysk, while the second route passed from the port of Travemünde (Germany) to the port of Liepaja (Latvia). The hubs were loaded onto low-frame trawls in the city of Aurich and went to the port of Travemunde. Then trawls with cargo were loaded onto a ferry going to the port of Liepaja, where towing vehicles were coupled to trawls and went to Adygea.

The length of the entire route was about 3800 km, and delivery time was 20–25 days.

The second delivery method made it possible to minimise the risks of damage to cargo during loading and unloading operations in ports. And as the bulk of transportation was carried out by road transport, it became possible to significantly affect transit time, which was reduced by 10–15 days. In this regard, most of the hubs were transported to their destination using the second route.

4. Tower footing equipment block

Dimensions (according to FFS contract): 3580 x 2300 x 2120 mm.

Weight (according to FFS contract): 2 100 kg.

Weight and dimension characteristics of the tower footing equipment block were standard, therefore delivery of this cargo was carried out by eurotrucks with a carrying capacity of up to 20 tons. This transportation within the project was less labour-intensive, but during first deliveries a rational scheme of loading and securing cargo in a vehicle was developed to optimise the number of vehicles as well as to select high-quality cargo securing. The distribution of cargo in transport plays an important role for transportation, as it affects costs.



Pic. 4. Hubs loading-unloading operations (provided by the authors).

The distance is 3 400 km. Transit time was 7–8 days.

PROBLEM ASPECTS OF THE PROJECT

1. Deviation from weight and dimension characteristics of the goods declared in FFS contract

Some weight and dimension characteristics (Table 1) happened to deviate from those declared in FFS as it was found at the time of the first shipments of WPP parts. The compared numbers that changed to the higher side are highlighted in grey. This often happens with manufacturers engaged in producing unique, non-serial equipment. In this situation, the operator took prompt measures to adjust and update the permits considering new data, types and quantity of transport vehicles were also revised.

In this case, all information following additional analysis of new weight and dimensional parameters is transferred to the customer of the project, as well as all additional operations for organising transportation are agreed with the customer because of possible additional costs and an increase in transit time of delivery.

2. Failure to comply with the schedule of supply of WPP parts and their shipment

The signed schedule in FFS contract regarding readiness of WPP parts was not followed by the manufacturer, and instead of weekly shipments from the factories, the supplies were uneven and unpredictable. In this regard, the logistics operator promptly made decisions on withdrawal of WPP parts to additional storage sites after receiving information on sets manufacturing.

Due to untimely shipments from the factories, the project period increased by three months, which affected all business processes of WPP parts supply chain, and resulted consequently in additional costs. For example,



Pic. 5. Loading and securing the platform in the vehicle (provided by the authors).

Table 1

Weight and dimension characteristics of WPP parts (planned and actual)

Name of the component	Dimensions under FFS contract, mm (length × width × height)	Initial weight under FFS contract, kg	Actual dimensions, mm (length × width × height)	Actual weight, kg
Generator	**4500** x 4500 x **2250**	**56 000**	**4600** x 4480 x **2500**	**56 700**
Nacelle	4900 x 3600 x 3650	21 339	4900 x 3600 x 3650	20 500
Hub	**3353** x **3326** x 3200	24 939	**3424** x **3424** x 3200	20 500
Tower footing base	3580 x **2300** x **2120**	**2 100**	3450 x **2400** x **2200**	**2 500**

the operator had to additionally apply for permits for heavy and oversized transportation and to extend the period of obligations at the final destination in Zarevo village, regarding the crane operations.

3. Force majeure

During implementation of the project, there was an unplanned closure of a section of a road in Germany along the route from suppliers to the port of Bremen. To resolve this issue, it was necessary to obtain updated permits for an alternative route for the road transportation of heavy and oversized cargo [14]. It took about 14 additional days to settle these formalities. At this time, the goods were accumulated at the supplier's warehouse and then massively exported to the port of Bremen.

4. Insured event

During implementation of the project, a single insured event was recorded: two nacelles were damaged in the port of Bronka. To determine practical consequences (possibility of restoring the nacelles in Russia or returning the nacelles to the supplier in Germany), a survey inspection was organised with two invited independent companies. The result of the inspection showed that the hulls of the nacelles were damaged, and their repair is possible by Russian specialists at the site of the installation of the wind turbine. It is worth noting that due to the timely analysis of the damage to the cargo, it was not necessary to organise return of the nacelles to the plant in Germany and thereby it allowed to avoid additional customs procedures, losses of time for equipment restoration, significant additional costs, and, of course, delays in the installation of WPP.

5. Accompanying documents.

Since WPP parts passed customs clearance procedure under single CD per a set of wind turbines, all accompanying documents were agreed in accordance with the requirements of the Customs Code, and carefully checked before crossing the border of the Russian Federation. The logistics operator carefully monitored all the marks of the customs authorities during the registration of the internal customs transit mode and the application of stamps at the border of the Russian Federation. A temporary customs control zone was organized at the customer's construction site, where the incoming sets of WPP underwent import customs clearance in accordance with CD.

CONCLUSIONS

The example of the described project showed that a lot of preparatory work was carried out, and, despite the unforeseen arisen difficulties, all the goods were successfully delivered within the agreed conditions, according to the FFS contract.

Logistics operators execute most of heavy and oversized transportation projects following winning a tender, when it is impossible to agree or adjust the cost or terms of real delivery, as well as some other conditions on which reliability and speed of transportation depends [2].

Based on the above analysis of heavy and oversized transportation, it can be concluded that most of the problems that arise are of a systemic nature and predictability. But due to the uniqueness of each project, accumulation of the necessary information base for most logistics operators is slow, since the total number of heavy and oversized shipments is extremely small against the general background

of general cargo haulage. Therefore, companies specialised in heavy and oversized transportation have been working in this area for many years. The rest of the logistics companies rarely get such an opportunity, thereby preventing this service from seriously progressing within the company.

The core condition for successful implementation of any heavy and oversized transportation project, reducing risks and meeting deadlines supposed engaging third-party companies to perform highly specialised tasks, such as route surveys, obtaining permits, agreeing on the possibility and necessity of obtaining a CD, engaging specialists (surveyors) to control and create conditions for the conscientious work of terminal operators and services performing the functions of unloading, reloading, checking the condition of packaging and the cargo itself, etc.

It should be added that implementation of complex non-standard, abnormal transportations requires deep knowledge and expertise: analysis of the experience of transporting heavy and oversized cargo and existing vehicles used for transportation of oversized cargo; study of the influence of external and internal factors on the transportation process, analysis of regulations and possibilities to initiate amendments; development methods for choosing the most suitable vehicle for a specific cargo along the route considering the transport infrastructure; development of an algorithm for determining the dimension class. In the studied case, the project implementation resulted in options proposed for optimising multimodal heavy and oversized transportation in international traffic, development of a methodology for selecting contractors for organising multimodal heavy and oversized transportation, development of quality criteria for organising the transportation.

It should be noted as conclusion that transportation of heavy and oversized cargo is one of the most difficult fields of logistics in international traffic. It interacts very closely with many sectors of the economy, industry, trade. And those who have nevertheless decided to professionally engage in this difficult, but very important area, should be supported with a quote attributed to the great French politician Charles de Gaulle: «Always choose the most difficult way, there you will not meet competitors».

REFERENCES

1. Macioszek, E. Conditions of Oversize Cargo Transport. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, 2019, Vol. 102, pp. 109–117. ISSN: 0209-3324. DOI: https://doi.org/10.20858/sjsutst.2019.102.9. Last accessed 24.09.2020.

2. Macioszek, E. Oversize Cargo Transport in Road Transport – Problems and Issues. *Scientific Journal of Silesian University of Technology, Series Transport*, 2020, Vol. 108 (108), pp. 133–140. DOI:10.20858/sjsutst.2020.108.12. Last accessed 17.12.2020.

3. Wolnowska, A. E., Konicki, W. Multi-Criterial Analysis of Oversize Cargo Transport through the City, using the AHP Method. *Transportation Research Procedia*, 2019, Vol. 39, pp. 614–623. DOI: 10.1016/j.trpro.2019.06.063. Last accessed 24.09.2020.

4. Petraška A., Čižiūnienė, K., Prentkovskis, O., Jarašūnienė, A. Methodology of Selection of Heavy and Oversized Freight Transportation System. *Transport and Telecommunication*, 2018, Vol. 19, No. 1, pp. 45–58. DOI 10.2478/ttj-2018-0005. Last accessed 24.09.2020.

5. Bazaras, D., Batarliene, N., Palšaitis, R., Petraška, A. Optimal Road Selection Criteria System for Oversize Goods Transportation. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 2013, Vol. 8(1), pp. 19–24, DOI: 10.3846/bjrbe.2013.03. Last accessed 24.09.2020.

6. Zhou, Yan Mei; Zeng, Chuan Hua; Xian, Fei. Study on Highway Transportation Route Selection of Heavy and Oversize Cargo. *Applied Mechanics and Materials*, 2015, Vol. 730, pp. 25–28. DOI: https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.730.25. Last accessed 24.09.2020.

7. Petraška, A., Čižiūnienė, K., Jarašūnienė, A., Maruschak, P., Prentkovskis, O. Algorithm for the Assessment of Heavyweight and Oversize Cargo Transportation Routes. *Journal of Business Economics and Management*, 2017, Vol. 18, Iss. 6, pp. 1098–1114. DOI: https://doi.org/10.3846/16111699.2017.1334229. Last accessed 24.09.2020.

8. Gudzhoyan, O. P., Troitskaya, N. A. Transportation of specific cargo. Textbook [*Perevozka spetsificheskikh gruzov. Uchebnik*]. Moscow, Transport publ., 2001, 160 p.

9. Troitskaya, N. A., Ponosov, Yu. K. Assessment of oversized and heavy cargo transportation systems. Study guide [*Otsenka sistem transportirovki krupnogabaritnykh tyazhelovesnykh gruzov: Ucheb. posobie*]. Moscow, MADI publ., 1988, 65 p.

10. Troitskaya, N. A. Methodical recommendations for transportation of oversized and heavy cargo in international traffic [*Metodicheskie rekomendatsii po perevozke krupnogabaritnykh tyzhelovesnykh gruzov v mezhdunarodnom soobshchenii*]. Moscow, ASMAP publ., 1997, 96 p.

11. Creation of an information search system (ISS) for transportation of oversized and heavy cargo (OSHC) and development of requirements for the parameters of specialized vehicles (SV) [*Sozdanie informatsionno-poiskovoi sistemy (IPS) po perevozkam krupnogabaritnykh tyazhelovesnykh gruzov (KTG) i vyrabotka trebovanii po parametram spetsializirovannogo podvizhnogo sostava (SPS)*]. Moscow, MADI publ., 1990, 21 p.

12. Smirnov, V. V. Insurance protection against risks in the sale of products following terms of delivery [*Strakhovaya zashchita ot riskov pri realizatsii produktsii po bazisam postavki*]. Moscow, Ankil publ., 1997, 340 p.

13. Stepanov, A. P., Vozlinsky, V. I. [*et al*]. Operation and safety of movement of road trains of heavy trucks [*Ekspluatatsiya i bezopasnost dvizheniya avtopoezdov tyazhelovozov*]. Moscow, Transport publ., 1998, 256 p.

14. Zibrov, I. A. Analysis of ATS adaptability to transportation of OSHC through bridge structures [*Analiz prosposoblennosti ATS k transportirovke KTG cherez mostovie sooruzheniya*]. *Actual problems of modern science*, 2002, Iss. 5, p. 28.

УДК 656.073
DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-1-174-193

Методика оптимального размещения контейнеров в поездах при наличии грузовых операций в пути следования







Дарья КОЧНЕВА **Сергей СИЗЫЙ** **Хао ЧАН**

Кочнева Дарья Ивановна *– Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Россия.*
Сизый Сергей Викторович *– Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия.*
Чан Хао *– Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург/Аньян (провинция Хэнань), Россия/КНР*.*

Рассматривается новый подход к организации маршрутных контейнерных поездов на основе принципов пассажирского сообщения. Технология предполагает движение контейнерного поезда по расписанию с продажей грузовых мест в поезде. Состав формируется на станции отправления и следует по установленному маршруту с остановками на промежуточных контейнерных терминалах или станциях, где осуществляется снятие контейнера назначением в данный пункт и установка на освободившееся место контейнера назначением в последующие пункты маршрута.

Цель настоящего исследования – разработка методики оптимального размещения контейнеров в маршрутном поезде с попутными грузовыми операциями. Методика предполагает итеративный поиск такого порядка размещения грузовых мест, чтобы контейнеры назначением в каждый промежуточный пункт находились максимально близко друг к другу. Методика представляет собой авторский алгоритм, основанный на методах комбинаторной оптимизации.

Практическая реализация предложенного алгоритма позволяет сократить излишний пробег погрузчика в промежуточных пунктах и, следовательно, повысить скорость грузовых операций при перестановке контейнеров, а также сократить эксплуатационные затраты использования погрузочных механизмов контейнерного терминала.

По сравнению с методом полного перебора предложенный математический алгоритм позволяет существенно сократить число итераций поиска решения и имеет возможность программной реализации.

Ключевые слова: транспорт, железная дорога, контейнерный поезд, контейнерные перевозки, контейнеропоток, маршрутизация, комбинаторная оптимизация.

---

*Информация об авторах:
Кочнева Дарья Ивановна – кандидат технических наук, доцент кафедры мировой экономики и логистики Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Россия, ✉ dana_rich@mail.ru.
Сизый Сергей Викторович – кандидат физико-математических наук, доктор технических наук, профессор кафедры алгебры и фундаментальной информатики Уральского федерального университета им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия, s5125@e1.ru.
Чан Хао – аспирант кафедры мировой экономики и логистики Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Россия / Аньян, провинция Хэнань, КНР, changhao001@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 20.12.2020, принята к публикации 26.02.2021.

For the English text of the article please see p. 184.

ВВЕДЕНИЕ

Переключение грузов на контейнерные перевозки с других видов транспорта и повышение уровня контейнеризации – одна из задач, способствующих достижению целей устойчивого развития, позволяющая уменьшить углеводородный след автомобильных перевозок.

Для России – это также одна из приоритетных задач экономического развития, предусмотренная национальными целями и стратегическими задачами[1], реализация которой должна привести к увеличению к 2024 г. объёма транзитных железнодорожных контейнерных перевозок в четыре раза.

Китай является основным мировым экспортёром грузов в контейнерах [1]. Анализ статистических данных о погрузке, выгрузке контейнеров, предоставленных ОАО «РЖД», показал, что на долю КНР приходится 66 % всех импортных железнодорожных контейнерных перевозок в Россию. При этом 52 % перевозок из Китая осуществляется по железной дороге через морские порты Приморского края[2].

В транзитном железнодорожном сообщении Китай–Европа–Китай через территорию России в 2020 году перевезено 3,6 млн тонн грузов (прирост в 1,9 раза) [2]. Однако доля морских перевозок из Китая в Европу через Суэцкий канал по-прежнему очень высока и составляет около 90 % всего китайско-европейского товарооборота [3].

Для расширения спектра конкурентоспособных предложений в части альтернативного пути контейнерных перевозок по сравнению с морскими маршрутами необходимо разрабатывать технологии увеличения скорости доставки, совершенствовать тарифную политику и повышать уровень обслуживания грузовладельцев.

В настоящее время существуют некоторые отечественные [4–9] и зарубежные [10–15] исследования, направленные на совершенствование организации контейнерных перевозок. Например, в работе [6] предложено формировать двухуровневую региональную структуру контейнерной транспортной системы: во-первых, сеть контейнерных терминалов, осуществляющих накопление грузов от отправителей, во-вторых, сеть контейнерных накопительно-распределительных центров, которые собирают региональные контейнерные потоки и обеспечивают формирование контейнерных поездов. Такой подход позволяет массово внедрять маршрутные контейнерные поезда, однако по-прежнему предполагается сбор и накопление контейнеров в крупных узлах, что увеличивает время начально-конечных операций. В зарубежной литературе эта технология обозначается термином «hub and spoke», её реализация в сфере контейнерных перевозок исследована в работах [10–12].

Ещё один вариант повышения конкурентоспособности железнодорожных контейнерных перевозок рассмотрен в исследовании [9] и предполагает применение дифференцированных длин контейнерных блок-поездов. Такой подход позволяет сокращать общее время доставки в контейнерах, но приводит к увеличению себестоимости перевозок и, соответственно, росту транспортного тарифа.

Все обозначенные отечественные и зарубежные исследования построены в соответствии с традиционной системой грузового движения.

В настоящей статье рассматривается новый подход к организации маршрутных контейнерных поездов, ранее в литературе не представленный.

Цель исследования – разработка методики оптимального размещения контейнеров в маршрутном поезде с попутными грузовыми операциями. Методика предполагает итеративный поиск такого порядка размещения грузовых мест, чтобы контейнеры назначением в каждый промежуточный пункт находились максимально близко друг к другу. Методика представляет собой авторский алгоритм, основанный на *методах* комбинаторной оптимизации.

В основе рассматриваемой технологии лежит принцип организации пассажирского сообщения: движение осуществляется по расписанию с продажей отдельных мест

[1] Указ Президента Российской Федерации «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». [Электронный ресурс]: http://kremlin.ru/events/president/news/57425. Доступ 20.12.2020.

[2] Расчёты авторов на основе статистики ОАО «РЖД».

в контейнерном поезде. Предполагается формирование поездов постоянной составности из фитинговых платформ с контейнерами, предназначенными для отправки по заданному маршруту движения. Остановки поезда планируются на промежуточных станциях, оборудованных для погрузки и выгрузки контейнеров. Во время стоянки поезда выполняется снятие погрузчиком с платформы контейнера назначением в данный промежуточный пункт и установка на освободившееся место контейнера, предназначенного для отправки на одну из следующих станций маршрута, а также необходимые технологические операции (смена локомотива и локомотивной бригады).

Реализация данной технологии позволит сократить время доставки контейнеров за счёт исключения сортировочных и маневровых операций в пути следования, упростить процедуру отправки грузов в контейнерах для грузовладельцев. При этом исключается необходимость накопления на терминале партии контейнеров на полный маршрут и соблюдается условие нормативной длины поезда. Перспективы такой концепции организации контейнерных перевозок рассматриваются в ОАО «РЖД» [16].

Новый подход к организации контейнерных перевозок требует множества исследований и решения ряда научных задач. В частности, в [17] разработана модель определения оптимальных маршрутов контейнерных поездов, станций их формирования и расформирования таким образом, чтобы обеспечивались минимальное время следования и максимальная загрузка состава с учётом потребностей регионов в контейнерных перевозках и ограничений региональной инфраструктуры.

Настоящая работа является продолжением исследований авторов [17] и представляет методику оптимальной расстановки контейнеров в поезде.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Методика оптимальной расстановки контейнеров в поезде с попутными грузовыми операциями

Размещение контейнеров в поезде с попутными грузовыми операциями должно осуществляться обоснованно. Их произвольное размещение в начальном пункте отправления может привести к избыточному пробегу погрузчика в промежуточных пунктах при выполнении грузовых операций. То есть возникает задача оптимального размещения грузовых мест в поезде таким образом, чтобы контейнеры назначением в каждый промежуточный пункт находились максимально близко друг к другу.

Задача о размещении относится к классу задач комбинаторной оптимизации. Методы решения сводятся к перебору вариантов для получения оптимального или близкого к оптимальному значению. Осуществление метода полного перебора зачастую невозможно, так как при наличии n объектов, которые необходимо оптимально разместить в некотором пространстве, возникает $n!$ вариантов расстановки. Например, если необходимо оптимально разместить только десять контейнеров в поезде, то для поиска оптимальной расстановки потребуется перебрать $10! = 3628\,800$ вариантов. В связи с этим разработаны различные математические алгоритмы частичного перебора, позволяющие найти решение близкое к оптимальному: метод ветвей границ, метод имитации отжига, муравьиный алгоритм, генетический алгоритм и другие [18–20].

Ввиду специфики поставленной задачи для её решения разработан специальный авторский алгоритм с опорой на существующие математические методы.

Алгоритм предполагает выполнение двух этапов.

На первом этапе определяются групповые места для контейнеров, следующих от одного места погрузки до одного места их выгрузки, и формируется исходная матрица расстановки.

На втором этапе исходная матрица подлежит многократной транспозиции (перестановке местами пары столбцов) до получения неулучшаемого значения критерия оптимальности. Критерием оптимальности выступает условное расстояние между контейнерами, подлежащими выгрузке в каждом промежуточном пункте.

Приведём описание алгоритма.

Занумеруем пункты (терминалы) погрузки/выгрузки контейнеров по маршруту следования поезда натуральными числами от 1 до N.



Рис. 1. Нумерация пунктов погрузки/выгрузки контейнеров по маршруту следования для целей формализации алгоритма (разработано авторами).

Для поезда, следующего по данному маршруту, задана матрица корреспонденций $[q(i,j)]$ размера $N \times N$, где $q(i,j)$ означает количество контейнеров, направляемых из пункта i в пункт j. Матрица корреспонденций удовлетворяет следующим ограничениям:

1. $q(i, j) = 0$, при $j \le i$ – контейнеры не могут быть отгружены и направлены из пункта i в предыдущие пункты следования поезда.

2. $\sum_{i=1}^{p} q(i,p) = \sum_{j=p}^{N} q(p,j)$ – в каждом промежуточном пункте $p = 2,3, ..., N\text{-}1$ в поезд загружается столько контейнеров $\sum_{j=p}^{N} q(p,j)$, сколько в этом пункте было выгружено $\sum_{i=1}^{p} q(i,p)$.

Такая матрица может быть сформирована на основе алгоритма поиска оптимального маршрута поезда на заданной сети, разработанного в [17].

Обозначим через I_j число источников контейнеропотока назначением в пункт j, а через S_i – число стоков (назначений) контейнеропотока, отправлением из пункта i.

Считаем, что в каждом пункте погрузки $p = 1,2, ..., N\text{-}1$ контейнеры, направляемые в конкретный пункт $j > p$, загружаются на свободные грузовые места рядом друг с другом, образуя грузовые группы. Таким образом, группа грузовых мест Γ_{pj} – это совокупность грузовых мест, расположенных рядом без промежутков, на которых помещаются контейнеры, направленные из данного пункта p в данный пункт назначения j. Отметим, что в поезде, на всём его протяжении, могут возникнуть несколько различных групп Γ_{pj} контейнеров одного и того же пункта отправления p и назначения j.

Общее количество групп грузовых мест K зададим следующей формулой:

$$K = 1 + \sum_{i=2}^{N-1} S_i. \qquad (1)$$

В этой формуле первое слагаемое (единица) соответствует грузовой группе Γ_{pN} контейнеров, направляемых из пункта формирования поезда $i = 1$ в последний пункт маршрута $i = N$. Эта группа содержит $q(1, N)$ контейнеров, она не изменяется при прохождении поездом промежуточных пунктов погрузки-выгрузки, поскольку контейнеры этой группы не затрагиваются в промежуточных пунктах маршрута. Таким образом, общее количество групп грузовых мест в поезде K определяется числом пар грузовых операций (погрузка-выгрузка) на маршруте. На начальном и конечном пункте в общей сложности осуществляется одна операция (только погрузка в начальном пункте и только выгрузка в конечном). В каждом промежуточном пункте осуществляется и погрузка, и выгрузка контейнеров. Следовательно, необходимое количество грузовых мест будет определяться числом назначения потока отправлением из каждого пункта i, то есть слагаемым $\sum_{i=2}^{N-1} S_i$.

Договоримся группы грузовых мест нумеровать натуральными числами от 1 до K, например, от локомотива к хвосту поезда.

Далее, на первом этапе формируется исходная ($\chi = 0$) матрица расстановки контейнеров в поезде $[\alpha_{lk}]$ размера $(N\text{-}1) \times K$. Элементы α_{lk} матрицы расстановки будут означать количество $q(i, j, k)$ контейнеров, погруженных в пункте i с назначением в пункт j, которые занимают k-е групповое место в контейнерном поезде.

Опишем алгоритм формирования матрицы расстановки $[\alpha_{lk}]$.

Элементы α_{1k} первой строки матрицы расстановки вычисляются по матрице корреспонденций $[q(i,j)]$ следующим образом.

Просматривая слева направо строки матрицы корреспонденций $[q(i,j)]$ начиная со второй, выберем из них все ненулевые элементы и расположим их в последовательность (S_i – число стоков контейнеро-

потока, отправленного из пункта i, т.е. количество ненулевых элементов в i-й строке):

$$\tilde{\alpha}_{11} = q(2, j_{21}),\ \tilde{\alpha}_{12} = q(2, j_{22}),\ \ldots,$$
$$\tilde{\alpha}_{1,S_2} = q(2, j_{2,S_2});\ \tilde{\alpha}_{1,S_2+1} = q(3, j_{31}),$$
$$\tilde{\alpha}_{1,S_2+2} = q(3, j_{32}),\ \ldots,\ \tilde{\alpha}_{1,S_2+S_3} = q(3, j_{3,S_3});$$
$$\ldots\ ;\ \tilde{\alpha}_{1,K-1} = q(N-1, N)$$

по определению количества групп грузовых мест (формула (1)), эта последовательность содержит в точности K-1 элемент.

Двигаясь по полученной последовательности ненулевых элементов слева направо, заполняем первую строчку матрицы расстановки по следующему правилу:

Если $\tilde{\alpha}_{1k} = q(i, j) \le q(1, i)$, то $\alpha_{1k} = \tilde{\alpha}_{1k}$. Это означает, что если k-й элемент $\tilde{\alpha}_{1k}$ последовательности, равный, разумеется, некоторому ненулевому элементу $q(i, j)$ из i-й строки матрицы корреспонденций, не превосходит верхнего элемента i-го столбца, то его и записываем в k-ю позицию первой строки матрицы расстановки, присваивая ему обозначение $q(i, j, k)$.

Иначе, если $\tilde{\alpha}_{1k} = q(i, j) > q(1, i)$, то

$$\alpha_{1k} = q(i, j) - \sum_{s=2}^{i} q(s, i).$$

Это означает, что в противном случае, когда количество контейнеров $q(i, j)$ не помещается в освободившуюся после разгрузки группу из $q(1, i)$ грузовых мест, из элемента $q(i, j)$ необходимо вычесть сумму всех элементов i-го столбца матрицы корреспонденций, стоящих ниже первого верхнего. Оставшиеся контейнеры $\sum_{s=2}^{i} q(s, i)$ распределятся на места, освободившиеся после выгрузки контейнеров, следовавших из пунктов $s > 1$ до пункта i.

Последний элемент первой строки матрицы расстановки полагаем равным $\alpha_{1K} = q(1, N)$, и он получает обозначение $q(1, N, K)$.

Для последующих строк матрицы расстановки $l = 2, \ldots, N$-1 числовые значения α_{lk} переписываются следующим образом. Значению α_{lk} присваиваются индексы p и j в соответствии с матрицей корреспонденций. Если в промежуточном пункте p происходит выгрузка контейнеров, следующих из i в p и погрузка на освободившееся место контейнеров назначением из p в j, то соответствующему значению α_{lk} присваиваются индексы p и j, при этом одновременно выполняются условия: $p = l$ и $p = j_{l-1}$. В случае если смены контейнеров в пункте p на грузовом месте не происходит (контейнеры проследовали через пункт p транзитом), то переписываются индексы предыдущей строки, то есть $p = p_{l-1}$ и $j = j_{l-1}$.

Для каждой строки l матрицы $[\alpha_{lk}]$ вычисляется условное расстояние между контейнерами $r(l)$ (расстояние непроизводительного пробега погрузчика), подлежащими погрузке в p-м пункте отправления, как сумма элементов $\alpha_{lk}(p, j)$ с индексами p, меньшими, чем номер этой строки l в границах отрезка $[lk_{\min}; lk_{\max}]$, то есть:

$$r(l) = \sum_{k_{\min}(l)}^{k_{\max}(l)} \alpha_{lk}(p, j),\ \text{при } p<1, \qquad (2)$$

где $k_{\min}(l)$ – номер крайнего левого столбца строки l, где записано значение $\alpha_{lk}(p, j)$ с индексом $p = l$;

$k_{\max}(l)$ – номер крайнего правого столбца строки l, где записано значение $\alpha_{lk}(p, j)$ с индексом $p = l$.

Тогда критерий оптимальности каждого варианта решения χ определяется выражением:

$$R(\chi) = \sum_{l=1}^{N-1} r(l). \qquad (3)$$

Задача состоит в поиске такой матрицы расстановки χ, для которой $R(\chi)$ принимает наименьшее значение.

Суть предлагаемого алгоритма оптимизации состоит в последовательных транспозициях (перестановках некоторых пар) столбцов матрицы χ по установленным правилам и исключении на каждом шаге решений с минимальным значением критерия оптимальности $R(\chi)$. Идея такого подхода основана на принципе генетического алгоритма.

Последовательность операций алгоритма оптимизации размещения контейнеров в поезде следующая:

Первый шаг. В матрице расстановки χ вычисляется значение $R(\chi)$. Среди значений матрицы $\alpha_{lk}(p, j)$ в отрезке $[(k_{\min}(l); k_{\max}(l))]$ выбираем наибольший элемент, то есть величину, которая более всего влияет на критерий $R(\chi)$.

Второй шаг. Выполняем транспозицию (перестановку двух столбцов) в матрице χ: k-й столбец, в котором расположен выбранный на первом шаге элемент $\alpha_{lk}(p, j)_{\max}$, меняем местами со столбцом, где в строке

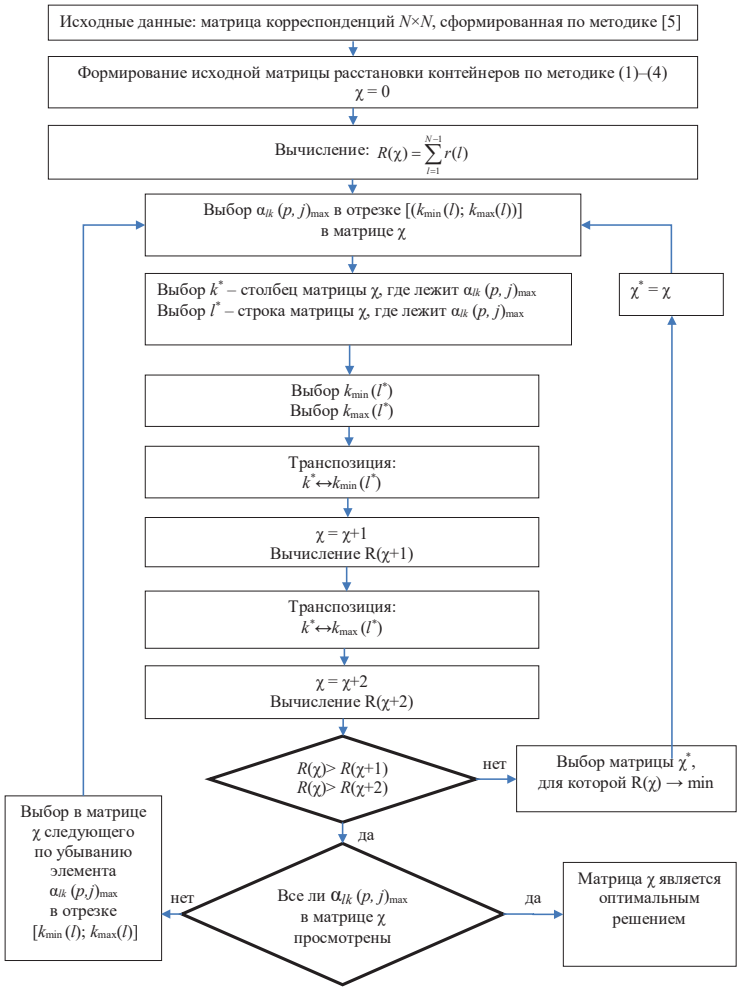


Рис. 2. Блок-схема алгоритма поиска оптимального размещения контейнеров в поезде с попутными грузовыми операциями (разработано авторами).

l расположен $\alpha_{lk\min}(p,j)$. Получаем матрицу χ+1, вычисляем значение $R(\chi+1)$.

Третий шаг. Выполняем транспозицию в матрице χ: k-й столбец, в котором расположен элемент $\alpha_{lk}(p,j)_{max}$, меняем местами со столбцом, где в строке l расположен элемент $\alpha_{lk\max}(p,j)$. Получаем матрицу χ+2, вычисляем значение $R(\chi+2)$.

Четвёртый шаг. Если $R(\chi) < R(\chi+1)$ и $R(\chi) < R(\chi+2)$, то выполненные на шагах 2 и 3 перестановки не позволили улучшить решение, переходим к шагу 5. В противном случае из матриц χ+1 и χ+2 выбираем ту, для которой $R(\chi)$ принимает наименьшее значение, прочие исключаются из рассмотрения, переходим к шагу 6.

Пятый шаг. В матрице расстановки χ находим следующий по убыванию величины элемент $\alpha_{lk}(p,j)_{max1}$ в интервале $(k_{min}(l); k_{max}(l))$, элементы $\alpha_{lk}(p, j)_{max}$, выбираемые ранее, из рассмотрения исключаются. Переходим к шагу 2.

Шестой шаг. Для выбранной матрицы повторяем шаги 1–4 до тех пор, пока не рассмотрены все столбцы со значениями $\alpha_{lk}(p,j)_{max}$, которые увеличивают расстояние между контейнерами одного назначения и не использованы способы их перестановки.

Блок-схема алгоритма поиска оптимального размещения контейнеров в поезде с попутными грузовыми операциями представлена на рис. 2.

Апробация методики оптимальной расстановки контейнеров в поезде с попутными грузовыми операциями

Рассмотрим конкретный пример реализации предложенного алгоритма. Пусть

Таблица 1

Матрица корреспонденций контейнерного поезда с попутными грузовыми операциями, ДФЭ (разработано авторами на основе методики [17])

Пункт отправления контейнеров	Пункт назначения контейнеров					
	Примор-ский край	Иркутская область	Краснояр-ский край	Свердлов-ская область	Пермский край	Санкт-Петербург
Приморский край	0	23	36	54	4	9
Иркутская область	0	0	0	3	2	18
Красноярский край	0	0	0	12	6	18
Свердловская об-ласть	0	0	0	0	2	67
Пермский край	0	0	0	0	0	14
Санкт-Петербург	0	0	0	0	0	0

Таблица 2

Исходная матрица расстановки контейнеров в поезде с попутными грузовыми операциями, $\alpha_{lk}(p, j)$ (ДФЭ) (разработано авторами)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$r(i)$
$3_{(1,2)}$	$2_{(1,2)}$	$18_{(1,2)}$	$12_{(1,3)}$	$6(_{1,3)}$	$18_{(1,3)}$	$2_{(1,4)}$	$52_{(1,4)}$	$4_{(1,5)}$	$9_{(1,6)}$	0
$3_{(2,4)}$	$2_{(2,5)}$	$18_{(2,6)}$	$12_{(1,3)}$	$6_{(1,3)}$	$18_{(1,3)}$	$2_{(1,4)}$	$52_{(1,4)}$	$4_{(1,5)}$	$9_{(1,6)}$	0
$3_{(2,4})$	$2_{(2,5)}$	$18_{(2,6)}$	$12_{(3,4)}$	$6_{(3,5)}$	$18_{(3,6)}$	$2_{(1,4)}$	$52_{(1,4)}$	$4_{(1,5)}$	$9_{(1,6)}$	0
$3_{(4,6)}$	$2_{(2,5)}$	$18_{(2,6)}$	$12_{(4,6)}$	$6_{(3,5)}$	$18_{(3,6)}$	$2_{(4,5)}$	$52_{(4,6)}$	$4_{(1,5)}$	$9_{(1,6)}$	44
$3_{(4,6)}$	$2_{(5,6)}$	$18_{(2,6)}$	$12_{(4,6)}$	$6_{(5,6)}$	$18_{(3,6)}$	$2_{(5,6)}$	$52_{(4,6)}$	$4_{(5,6)}$	$9_{(1,6)}$	100

Таблица 3

Результат апробации алгоритма поиска оптимального размещения контейнеров в поезде с попутными грузовыми операциями (разработано авторами)

Вариант решения	Выбранный наибольший элемент	Выбранный столбец	Выбранная строка	Транспози-ция	Критерий $R(\chi)$	Выбор реше-ния
χ	$\alpha_{lk}(p, j)_{\max}$	k^*	l^*			
0	52	8	5	–	144	$R(\chi)_{\min} = 96$ $\chi = 2$
1				8↔2	150	
2				8↔9	96	
3	18	3	4	3↔1	61	$R(\chi)_{\min} = 61$ $\chi = 3$
4				3↔8	202	
5	18	6	4	6↔1	79	$R(\chi)_{\min} = 61$ $\chi = 3$
6				6↔8	131	
7	18	6	5	6↔2	51	$R(\chi)_{\min} = 49$ $\chi = 8$
8				6↔9	49	
9	12	4	5	4↔2	53	$R(\chi)_{\min} = 35$ $\chi = 10$
10				4↔7	35	
11	6	5	4	5↔1	42	$R(\chi)_{\min} = 35$ $\chi = 10$
12				5↔8	89	
13	4	9	3	9↔5	31	$R(\chi)_{\min} = 31$ $\chi = 13$
14				9↔6	61	
15	4	9	4	9↔1	33	$R(\chi)_{\min} = 31$ $\chi = 13$
16				9↔8	91	
17	3	1	5	1↔2	30	$R(\chi)_{\min} = 30$ $\chi = 17$
18				1↔5	43	
19	2	2	4	2↔1	31	$R(\chi)_{\min} = 30$ $\chi = 17$
20				2↔8	134	

$\chi = 0$; $R(0) = 144$

$\alpha_{lk}(p, j)_{max} = 52 \Rightarrow k^* = 8$; $l^* = 5$;
для $l^* = 5$,
$k_{min}(l^*) = 2$, $k_{max}(l^*) = 9$

Транспозиция по k: 8↔2
$\chi = 1$, $R(1) = 90+42+18 = 150$

i / k	1	**8**	3	4	5	6	7	**2**	9	10	$r(i)$
1	3	52	18	12	6	18	2	2	4	9	0
2	3	52	18	12	6	18	2	2	4	9	90
3	3	52	18	12	6	18	2	2	4	9	0
4	3	52	18	12	6	18	2	2	4	9	42
5	3	**52**	18	12	6	18	2	2	4	9	18

Транспозиция по k: 8↔9
$\chi = 2$, $R(2) = 48 + 48 = 96$

i / k	1	2	3	4	5	6	7	**9**	**8**	10	$r(i)$
1	3	2	18	12	6	18	2	4	52	9	0
2	3	2	18	12	6	18	2	4	52	9	0
3	3	2	18	12	6	18	2	4	52	9	0
4	3	2	**18**	12	6	18	2	4	52	9	48
5	3	2	18	12	6	18	2	4	**52**	9	48

$R(\chi)_{min} = 96$; выбор $\chi = 2$

Для $\chi = 2$:
$\alpha_{lk}(p, j)_{max} = 18 \Rightarrow k^* = 3$; $l^* = 4$;
для $l^* = 4$,
$k_{min}(l^*) = 1$, $k_{max}(l^*) = 8$

Транспозиция по k: 3↔1
$\chi = 3$, $R(3) = 28 + 33 = 61$

i / k	3	2	1	4	5	6	7	**9**	**8**	10	$r(i)$
1	18	2	3	12	6	18	2	4	52	9	0
2	18	2	3	12	6	18	2	4	52	9	0
3	18	2	3	12	6	18	2	4	52	9	0
4	18	2	3	12	6	18	2	4	52	9	28
5	18	2	3	12	6	18	2	4	52	9	33

Последующие итерации до получения неулучшаемого $R(\chi)$

Рис. 3. Апробация алгоритма поиска оптимального размещения контейнеров в поезде с попутными грузовыми операциями (фрагмент) (разработано авторами).

сформирована матрица корреспонденций для маршрута контейнерного поезда с попутными грузовыми операциями: Приморский край, Иркутская область, Красноярский край, Свердловская область, Пермский край, Санкт-Петербург (табл. 1).

Таблица 4

Оптимальная матрица размещения контейнеров в поезде с попутными грузовыми операциями (разработано авторами)

3	1	2	7	9	5	4	6	8	10	$r(i)$
18(1,2)	3(1,2)	2(1,2)	2(1,4)	4(1,5)	6(1,3)	12(1,3)	18(1,3)	52(1,4)	9(1,6)	0
18(2,6)	3(2,4)	2(2,5)	2(1,4)	4(1,5)	6(1,3)	12(1,3)	18(1,3)	52(1,4)	9(1,6)	0
18(2,6)	3(2,4)	2(2,5)	2(1,4)	4(1,5)	6(3,5)	12(3,4)	18(3,6)	52(1,4)	9(1,6)	0
18(2,6)	3(4,6)	2(2,5)	2(4,5)	4(1,5)	6(3,5)	12(4,6)	18(3,6)	52(4,6)	9(1,6)	30
18(2,6)	3(4,6)	2(5,6)	2(5,6)	4(5,6)	6(5,6)	12(4,6)	18(3,6)	52(4,6)	9(1,6)	0

Данный маршрут сформирован на основе авторского алгоритма, представленного в работе [17].

Сформируем исходную матрицу расстановки контейнеров.

Определим число групповых мест в поезде: K = 9 + 1 = 10 мест. Следовательно, получим матрицу расстановки размером 5 × 10. По разработанной методике рассчитаем значения $\alpha_{lk}(p,j)$ – число контейнеров, погруженных в пункте i назначением в пункт j, которые занимают k-е групповое место в контейнерном поезде – и сформируем матрицу расстановки контейнеров (табл. 2).

Цветовым фоном в матрице выделены ячейки, в которых указан контейнеропоток, подлежащий выгрузке в пункте, соответствующем номеру строки.

Вычислим значение критерия оптимальности $R(\chi)$ для исходной матрицы:

$R(0) = 44 + 100 = 144$ ДФЭ.

На практике полученное значение $R(\chi)$ означает, что при осуществлении грузовых операций с контейнерами на промежуточных станциях погрузчик выполняет излишний пробег 144 × 6,1 = 878,4 метра.

На основе предложенного алгоритма выполним многократные транспозиции столбцов матрицы расстановки. Фрагмент работы алгоритма приведён на рис. 3.

Результат выполнения шагов алгоритма приведён в табл. 3.

В результате 17 итераций получена матрица расстановки контейнеров в поезде с попутными грузовыми операциями (табл. 4), дальнейшие итерации не приводят к уменьшению значения целевой функции $R(17)_{\min} = 30$ ДФЭ.

В результате получаем следующую матрицу оптимального размещения контейнеров (табл. 4).

Таким образом, при заданных условиях оптимизация размещения контейнеров в поезде позволяет сократить излишний пробег погрузчика в промежуточных пунктах с 144 × 6,1 = 878,4 метра до 30 × 6,1 = 183 метра, то есть в 4,8 раза. Это позволит повысить скорость грузовых операций при перестановке контейнеров и сократить эксплуатационные затраты использования погрузочных механизмов контейнерного терминала.

Предложенный алгоритм позволяет существенно сократить число итераций поиска решения по сравнению с методом полного перебора и имеет возможность программной реализации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный в работе подход к организации маршрутных контейнерных поездов предполагает организацию движения по принципу пассажирского сообщения: состав формируется на станции отправления и следует по расписанию и установленному маршруту с остановками на промежуточных контейнерных терминалах, где осуществляется снятие контейнера назначением на данную станцию и установка на свободное место контейнера назначением на следующие станции маршрута. Реализация предложенной технологии позволит повысить конкурентоспособность железнодорожных контейнерных перевозок как во внутреннем, так

и в транзитном сообщении, создаст условия для контейнеризации дополнительного грузопотока за счёт сокращения сроков доставки и повышения качества транспортного обслуживания.

В работе представлена авторская методика оптимальной расстановки контейнеров в поезде в рамках реализации предложенной технологии организации движения. Произвольное размещение контейнеров в начальном пункте отправления может привести к избыточному пробегу погрузчика в промежуточных пунктах при выполнении грузовых операций. Предложенная методика позволяет разместить грузовые места в поезде таким образом, чтобы контейнеры назначением в каждый промежуточный пункт находились максимально близко друг к другу. По сравнению с методом полного перебора алгоритм существенно сокращает число итераций поиска решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Song Chunhui. Research on Transportation Development of Container Port Starts. International Core Journal of Engineering, 2020, Vol. 6, Iss. 9, pp. 292–300. DOI: 10.6919/ICJE.202009_6(9).0037. Доступ 20.12.2020.

2. Транзит грузов в контейнерах в сообщении Китай–Европа–Китай по сети РЖД удвоился в январе-ноябре // РЖД партнер.ру. [Электронный ресурс]: https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/news/tranzit-gruzov-v-konteynerakh-v-soobshchenii-kitay-evropa-kitay-po-seti-oao-rzhd-udvoilsya-v-yanvare/. Доступ 20.12.2020.

3. Китай–Европа: сухопутный контейнерный прорыв вопреки «экономиксу». TELS Эксперт. 29.01.2019. [Электронный ресурс]: https://telsgroup.ru/media_center/tels_in_the_press/4691.html. Доступ 20.12.2020.

4. Сай В. М., Кочнева Д. И. Моделирование оценки потребности региона в контейнерных перевозках // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16. – № 4. – С. 160–178. [Электронный ресурс]: https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1500. Доступ 20.12.2020.

5. Kochneva, D., Say, V., Siziy, S. Economic and Mathematical Evaluation Model of Interaction Between Container Transportation System and Russian Regions. International Scientific Siberian Transport Forum. Springer, Cham, 2019, pp. 782–790. DOI: 10.1007/978-3-030-37919-3_77. Доступ 20.12.2020.

6. Москвичев О. В., Москвичева Е. Е., Никонов Ю. С. К вопросу консолидации и доставки одиночных и групповых контейнерных отправок в составе контейнерных поездов // Транспорт Урала. – 2014. – № 2. – С. 15–18. [Электронный ресурс]: https://www.studmed.ru/transport-urala-2014-02-41-_219e37113a7.html. Доступ 20.12.2020.

7. Резер С. М., Резер А. В., Лёвин С. Б., Носырев И. И. Математическое моделирование перевозок грузов в спецконтейнерах // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2019. – № 5. – С. 3–10. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37820325. Доступ 20.12.2020.

8. Кириллова А. Г. Актуальные аспекты развития международных транспортных коридоров на территории России // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2018. – № 2 (75). – С. 51–54. [Электронный ресурс]: https://cyberleninka.ru/article/n/aktualnye-aspekty-razvitiya-mezhdunarodnyh-transportnyh-koridorov-na-territorii-rossii/pdf. Доступ 20.12.2020.

9. Басыров И. М., Биленко Г. М., Басыров М. А. Укороченные контейнерные блок-поезда в мультимодальных перевозках // Бюллетень транспортной информации. – 2020. – № 1. – С. 4–9. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41804989. Доступ 20.12.2020.

10. Sun, Yan; Li, Xinya. Fuzzy programming approaches for modeling a customer-centred freight routing problem in the road-rail intermodal hub-and-spoke network with fuzzy soft time windows and multiple sources of time uncertainty. Mathematics, 2019, Vol. 7, Iss. 8, p. 739. DOI: 10.3390/math7080739. Доступ 20.12.2020.

11. Sholihah, S. A. [*et al*]. Coordination model in hinterland chain of hub-and-spoke export trade logistics. Journal of Industrial Engineering and Management, 2018, Vol. 11, Iss. 4, pp. 776–793. DOI: 10.3926/jiem.2538. Доступ 20.12.2020.

12. Zhao, Yiran; Yang, Zhongzhen; Haralambides, H. Optimizing the transport of export containers along China's coronary artery: The Yangtze River. Journal of Transport Geography, 2019, Vol. 77, pp. 11–25. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2019.04.005. Доступ 20.12.2020.

13. Mantovani, S., Gianluca, M. [*et al*]. The load planning problem for double-stack intermodal trains. European Journal of Operational Research, 2018, Vol. 267, Iss. 1, pp. 107–119. DOI: 10.1016/j.ejor.2017.11.016. Доступ 20.12.2020.

14. Fomin, O. [*et al*]. Research of stability of containers in the combined trains during transportation by railroad ferry. MM Science Journal, 2020, Vol. 1, pp. 3728–3733. DOI: 10.17973/MMSJ.2020_03_2019043. Доступ 20.12.2020.

15. Morganti, G. [*et al*]. Block planning for intermodal rail: Methodology and case study. Transportation Research Procedia, 2020, Vol. 47, pp. 19–26. DOI:10.1016/j.trpro.2020.03.068. Доступ 20.12.2020.

16. Виноградов С. А. Контейнеру продадут билет как пассажиру // Интернет-издание «Гудок», 20.07.2020. [Электронный ресурс]: https://gudok.ru/content/first_person/1528250/. Доступ 01.10.2020.

17. Кочнева Д. И., Чан Хао. Модель планирования маршрутных контейнерных поездов с грузовыми операциями в пути следования // Вестник УрГУПС. – 2020. – № 4. – С. 46–56. [Электронный ресурс]: https://www.usurt.ru/vestnik/arxiv/vestnik_UrGUPS_4_2020.pdf. Доступ 01.10.2020.

18. Чернышев Ю. О., Кубил В. Н. Обзор динамических задач маршрутизации транспорта // Программные продукты и системы. – 2020. – Т. 33. – № 3. – С. 491–501. [Электронный ресурс]: https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-dinamicheskih-zadach-marshrutizatsii-transporta/pdf. Доступ 01.10.2020.

19. Максимов П. А., Симаков В. К., Говоров В. Р. Многовершинные графы: поиск оптимального решения транспортных проблем // Транспортное дело России. – 2020. – № 2. – С. 94–96. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_43022651_46125466.pdf. Доступ 01.10.2020.

20. Савельев М. В. О сложности одной задачи комбинаторной оптимизации // Математические машины и системы. – 2016. – № 4. – С. 106–110. [Электронный ресурс]: https://cyberleninka.ru/article/n/o-slozhnosti-odnoy-zadachi-kombinatornoy-optimizatsii/pdf. Доступ 01.10.2020.

DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-1-174-193

Methodology for Optimal Placement of Containers in Trains in Case of Cargo Operations Along the Route







Daria I. KOCHNEVA **Sergey V. SIZIY** **Hao CHANG**

Kochneva, Daria I., *Ural State University of Railway Transport, Yekaterinburg, Russia.*
Siziy, Sergey V., *Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia.*
Chang, Hao, *Ural State University of Railway Transport, Yekaterinburg/Ānyáng (Hénán province), Russia/PRC*.*

ABSTRACT

A new approach to organisation of container block trains is considered based on the principles of passenger traffic. The technology assumes container train's traffic subject to the timetable with sale of cargo space in the train. The train is made up at the departure station and follows the established route with stops at intermediate container terminals or stations, where a container for which this station is designated as destination is removed and a new container is placed on the vacated place to be delivered to subsequent points of the route.

The objective of this study is to develop a methodology for optimal placement of containers in a block train intended for en route cargo handling operations. The technique involves an iterative search for such an order of placement of packages so that containers assigned to each intermediate point are as close to each other as possible. The technique is an authors' algorithm based on combinatorial optimisation methods.

The implementation of the proposed algorithm makes it possible to reduce the excessive mileage of handlers and loaders at intermediate points and, consequently, to increase speed of cargo operations when rearranging containers, as well as to reduce operating costs of using the loading facilities of the container terminal.

The proposed mathematical algorithm as compared to exhaustive search allows significantly reducing the number of iterations in search for a solution and can be implemented as software.

Keywords: transport, railway, container train, container transportation, container flow, routing, combinatorial optimisation.

*Information about the authors:
Kochneva, Daria I. – Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of World Economy and Logistics of Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg, Russia, ✉ dana_rich@mail.ru.
Siziy, Sergey V. – Ph.D. (Physics and Mathematics), D.Sc. (Eng), Professor at the Department of Algebra and Fundamental Informatics of Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia, s5125@e1.ru.
Chang, Hao – Ph.D. student at the Department of World Economy and Logistics of Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg, Russia/Ānyáng, Hénán province, PRC, changhao001@mail.ru.

Article received 20.12.2020, accepted 26.02.2021.

For the original Russian text of the article please see p. 174.

INTRODUCTION

Switching cargo to container transportation from other modes of transport and increasing the level of containerisation is one of the tasks facilitating the achievement of sustainable development goals, allowing to reduce carbon footprint of road transportation.

It is also among priority tasks of Russia's economic development, stipulated by national goals and strategic tasks[1], the implementation of this task will result in quadrupling the volume of transit railway container transportation by 2024.

China is the main global importer of containerised cargo [1]. An analysis of statistical data on loading and unloading of containers provided by JSC Russian Railways showed that the PRC accounts for 66 % of all imported railway container transportation to Russia. At the same time, 52 % of shipments from China are carried out by rail through the seaports of Primorsky region (Kray)[2].

Railway transit traffic on the route China–Europe–China through the territory of Russia in 2020 attained 3,6 million tons (an increase by 1,9 times) [2]. However, the share of sea transportation from China to Europe through the Suez Canal is still very high and accounts for about 90 % of the total Chinese-European trade [3].

To increase the range of competitive offerings in terms of alternative ways of container transportation compared to sea routes, it is necessary to develop technology to increase delivery speed, improve tariff policy and improve the level of service for cargo owners.

Currently, there are some Russian [4–9] and international [10–15] studies aimed at improving organisation of container transportation. For example, in [6] it is proposed to form a two-level regional structure of the container transportation system: first, a network of container terminals that accumulate goods from shippers, and second, a network of container storage and distribution centres that collect regional container flows and ensure building container trains. This approach makes it possible to massively adopt container block trains, but it still presupposes collection and accumulation of containers in large hubs, which increases time of initial and final operations. In literature, this technology is denoted by the term «hub and spoke», its implementation in the field of container transportation was studied, e.g., in [10–12].

Another option for increasing competitiveness of railway container transportation is considered in the study [9] and involves the use of differentiated lengths of container block trains. This approach allows reducing the total container delivery time but entails an increase in the cost of transportation and, accordingly, an increase in the transport tariff.

All designated domestic and international studies are built in accordance with the traditional rail cargo traffic system[3].

This article discusses a new approach to organisation of container block trains, previously not presented in the literature.

The *objective* of the study is to develop a methodology for optimal placement of containers in a block train intended for en route cargo handling operations. The technique involves an iterative search for such an arrangement of packages so that containers assigned to each intermediate point are as close to each other as possible. The technique is an authors' algorithm based on combinatorial optimisation *methods*.

The technology under consideration is based on the principle of organising passenger traffic: traffic is carried out according to the timetable with sale of individual space in a container train. It is assumed that trains with permanent number of platform wagons [flat-platform wagons fitted with securing equipment] will be intended for containers dispatched along a given route. Train stops are planned at intermediate stations equipped for loading and unloading handling equipment. While that train stops at a station the handler removes a container assigned to that intermediate station from the platform and installs on the

[1] Decree of the President of the Russian Federation «On national goals and strategic objectives for development of the Russian Federation for the period up to 2024». [Electronic resource]: http://kremlin.ru/events/president/news/57425. Last accessed 20.12.2020.

[2] Authors' own calculations based on statistics of JSC Russian Railways.

[3] The recently adopted Precision-scheduled railroading (PSR) in the United States and its general impact on organisation of container transportation seemed still awaiting in-depth research publications to be integrated in the review of relevant literature. – *Editorial note.*

vacant place another container intended to be supplied to one of the following stations on the route. Other necessary technological operations (changing the locomotive and locomotive crew) are simultaneously performed as well.

The implementation of this technology will reduce container delivery time by eliminating sorting and shunting operations along the route and will facilitate and simplify the procedure of forwarding containerised goods for cargo owners. This eliminates the need to accumulate at a terminal a batch of containers intended to be delivered through a full route, while meeting the condition of the standard train length. Prospects for such a concept of organising container transportation are being considered by JSC Russian Railways [16].

A new approach to organisation of container transportation requires a lot of research and the solution of several scientific problems. In [17], a model was developed for determining the optimal routes of container trains, stations where they are assembled and disassembled in such a way as to ensure the minimum travel time and maximum train load, considering the needs of the regions in container transportation and constraints of the regional infrastructure.

This work is a continuation of the research of the authors [17] and presents a methodology for optimal placement of containers in a train.

RESULTS

The method of optimal placement of containers in a train intended for en route cargo handling operations

The placement of containers on a train intended for en route cargo handling operations must be carried out reasonably. Their arbitrary placement at the origin point can result in excess handler mileage at intermediate points when carrying out cargo handling operations. That is, the problem arises of optimal placement of packages (containers) in the train so that containers assigned to each intermediate point are as close to each other as possible.

The placement problem belongs to the class of combinatorial optimisation problems. The solution methods are reduced to an enumeration of options to obtain the optimal value or the one close to the optimal value. The exhaustive search method is often impossible since when there are n objects that need to be optimally placed in a certain space, $n!$ placement options appear. For example, if it is necessary to optimally place only ten containers in a train, then finding of optimal arrangement will require to go through 10! = 3 628 800 options. In this regard, various mathematical algorithms for partial enumeration have been developed that allow finding a solution close to the optimal one: the branch-and-bound method, the simulated annealing method, the ant colony algorithm, the genetic algorithm, and others [18–20].

In view of the specifics of the task at hand, a special author's algorithm has been developed to solve it based on existing mathematical methods.

The algorithm involves two stages.

At the first stage, after determining placement area for groups of containers moved from the same origin (place of loading) to the same destination (place of unloading) an initial placement matrix is formed.

At the second stage, the original matrix is subject to multiple transposition (permutation of pairs of columns) until an unimprovable value of the optimality criterion is obtained. The criterion of optimality is the conditional distance between containers to be unloaded at each intermediate point.

Here is a description of the algorithm.

Let's number the points (terminals) of container loading/unloading along the train route with natural numbers from 1 to N (Pic. 1).

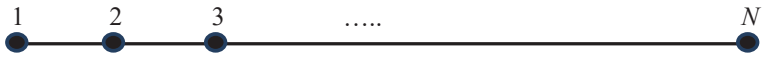
For a train following this route, a correspondence matrix $[q(i, j)]$ of size $N \cdot N$ is given, where $q(i, j)$ denotes the number of containers sent from point i to point j. The correspondence matrix satisfies the following constraints:

1. $q(i, j) = 0$, if $j \le i$ containers cannot be shipped and sent from point i to the previous points of the train route;

2. $\sum_{i=1}^{p} q(i, p) = \sum_{j=p}^{N} q(p, j)$: at each intermediate point p = 2,3, ..., N-1 as many containers $\sum_{j=p}^{N} q(p, j)$ are loaded into the train as were unloaded at this point $\sum_{i=1}^{p} q(i, p)$.

Such a matrix can be formed based on the algorithm for finding the optimal train route on a given network, developed in [17].

Let us denote by I_j the number of sources of flows of containers intended for supply to



Pic. 1. Numbering of the points of container loading/unloading along the route for the purpose of formalising the algorithm (developed by the authors).

destination point j, and by S_i – the number of destinations (channels) of container flows departed from point i.

We assume that at each loading point p = 1,2, ..., N-1, containers sent to a specific point $j > p$ are loaded onto free cargo spaces next to each other, forming *cargo groups*. Thus, a group of cargo spaces G_{pj} is a set of cargo spaces located side by side without gaps, where containers sent from a given origin point p to a given point of destination j are placed. Note that in a train, along its entire length, several different groups G_{pj} of placement of containers delivered from the same point of departure p to destination point j may appear.

The total number of groups of cargo spaces K is defined by the following formula:

$$K = 1 + \sum_{i=2}^{N-1} S_i. \qquad (1)$$

In this formula, the first term (one) corresponds to the cargo group G_{pN} of containers sent from the point of assembling of the train $i = 1$ to the final point of the route $i = N$. This group contains $q(1, N)$ containers, it does not change when the train passes intermediate loading-unloading points, since the containers of this group are not handled at intermediate points of the route. Thus, the total number of groups of cargo spaces in the train K is determined by the number of pairs of cargo operations (loading-unloading) on the route. A single operation is carried out at the origin and destination point (only loading at the starting point and only unloading at the final point). At each intermediate point, both loading and unloading of containers is carried out, therefore, the required number of cargo spaces will be determined by the number of destinations of the flow from each point i, that is, by the term $\sum_{i=2}^{N-1} S_i$.

Let us agree to number the groups of cargo spaces with natural numbers from 1 to K, for example, from the locomotive to the tail of the train.

Further, at the first stage, the initial ($\chi = 0$) *matrix of arrangement of containers in the train* $[\alpha_{lk}]$ of size $(N\text{-}1) \cdot K$ is formed. Elements α_{lk} of the placement matrix will denote the number $q(i, j, k)$ of containers loaded at point i with assignment to point j, which occupy the k-th group space in the container train.

Let us describe the algorithm for forming the matrix of arrangement $[\alpha_{lk}]$.

Elements α_{1k} of the first row of the placement matrix are calculated from the correspondence matrix $[q(i, j)]$ as follows.

Looking from left to right the rows of the correspondence matrix $[q(i,j)]$ *starting from the second one*, select all *nonzero* elements from them and arrange them in a sequence (S_i – the number of destinations of the container flow sent from point i, that is, the number of *nonzero* elements in the i-th line):

$$\tilde{\alpha}_{11} = q(2, j_{21}),\ \tilde{\alpha}_{12} = q(2, j_{22}),\ \ldots,$$
$$\tilde{\alpha}_{1,S_2} = q(2, j_{2,S_2});\ \tilde{\alpha}_{1,S_2+1} = q(3, j_{31}),$$
$$\tilde{\alpha}_{1,S_2+2} = q(3, j_{32}),\ \ldots,\ \tilde{\alpha}_{1,S_2+S_3} = q(3, j_{3,S_3});$$
$$\ldots\ ;\ \tilde{\alpha}_{1,K-1} = q(N-1, N)$$

– from formula (1) determining the number of groups of cargo spaces, this sequence contains exactly K-1 elements.

Moving along the resulting sequence of nonzero elements from left to right, let us fill in the first line of the placement matrix according to the following rule.

If $\tilde{\alpha}_{1k} = q(i, j) \le q(1, i)$, then $\alpha_{1k} = \tilde{\alpha}_{1k}$. This means that if the k-th element of $\tilde{\alpha}_{1k}$ sequence, which, of course, is equal to some nonzero element $q(i,j)$ from the i-th row of the correspondence matrix, does not exceed the upper element of the i-th column, then we write it to the k-th position of the first row of the placement matrix, assigning it the notation $q(i, j, k)$.

Otherwise, if $\tilde{\alpha}_{1k} = q(i, j) > q(1, i)$,

then $\alpha_{1k} = q(i, j) - \sum_{s=2}^{j} q(s, i)$.

This means that otherwise, when the number of containers $q(i, j)$ does not fit into the group of $q(1, i)$ cargo spaces vacated after unloading, it is necessary to subtract the sum of all elements of the i-th column of the matrix of correspondences below the first upper one.

Table 1

Matrix of correspondences of a container train intended for en route cargo handling operations, transporting TEU (developed by the authors based on the methodology [17])

Departure point of containers	Destination point of containers					
	Primorsky region	Irkutsk region	Krasnoyarsk region	Sverdlovsk region	Perm region	St. Petersburg
Primorsky region	0	23	36	54	4	9
Irkutsk region	0	0	0	3	2	18
Krasnoyarsk region	0	0	0	12	6	18
Sverdlovsk region	0	0	0	0	2	67
Perm region	0	0	0	0	0	14
St. Petersburg	0	0	0	0	0	0

The remaining containers $\sum_{s=2}^{i} q(s,i)$ will be distributed to the spaces vacated after unloading of containers following from points $s > 1$ to the point i.

The last element of the first row of the arrangement matrix is set equal to $\alpha_{1K} = q(1, N)$ and it is denoted $q(1, N, K)$.

For the subsequent rows of the arrangement matrix $l = 2, ..., N$-1 the numerical values α_{lk} are rewritten as follows. The values α_{lk} are assigned the indices p and j in accordance with the correspondence matrix. If at the intermediate point p the containers are unloaded from i to p and the containers are loaded onto the vacant space to be transported from p to j, then the corresponding value α_{lk} is assigned the indices p and j, while the conditions are simultaneously fulfilled: $p = l$ and $p = j_{l-1}$. If there is no change of containers at point p on the cargo space (the containers have passed through point p in transit), then the indices of the previous line are overwritten, that is, $p = p_{l-1}$ and $j = j_{l-1}$.

For each row l of the matrix $[\alpha_{lk}]$, the conditional distance between the containers $r(l)$ (the distance of the unproductive run of the handler) to be loaded at the p-th point of departure is calculated as the sum of the elements $\alpha_{lk}(p, j)$ with indices p less than the number of this line l within the boundaries of the segment $[lk_{\min}; lk_{\max}]$, that is:

$$r(l) = \sum_{k_{\min}(l)}^{k_{\max}(l)} \alpha_{lk}(p, j), \text{ at } p < l, \qquad (2)$$

where $k_{\min}(l)$ is number of the leftmost column of row l, where the value $\alpha_{lk}(p, j)$ is written with the index $p = l$;

$k_{\max}(l)$ is number of the rightmost column of row l, where the value $\alpha_{lk}(p, j)$ is written with the index $p = l$.

Then the criterion of optimality of each solution χ is determined by the expression:

$$R(\chi) = \sum_{l=1}^{N-1} r(l). \qquad (3)$$

The problem is to find such an arrangement matrix χ for which $R(\chi)$ takes the smallest value.

The essence of the proposed optimisation algorithm consists in successive transpositions (permutations of some pairs) of columns of the matrix χ according to the established rules and the elimination at each step of solutions with a minimum value of the optimality criterion $R(\chi)$. The idea behind this approach is based on the principle of a genetic algorithm.

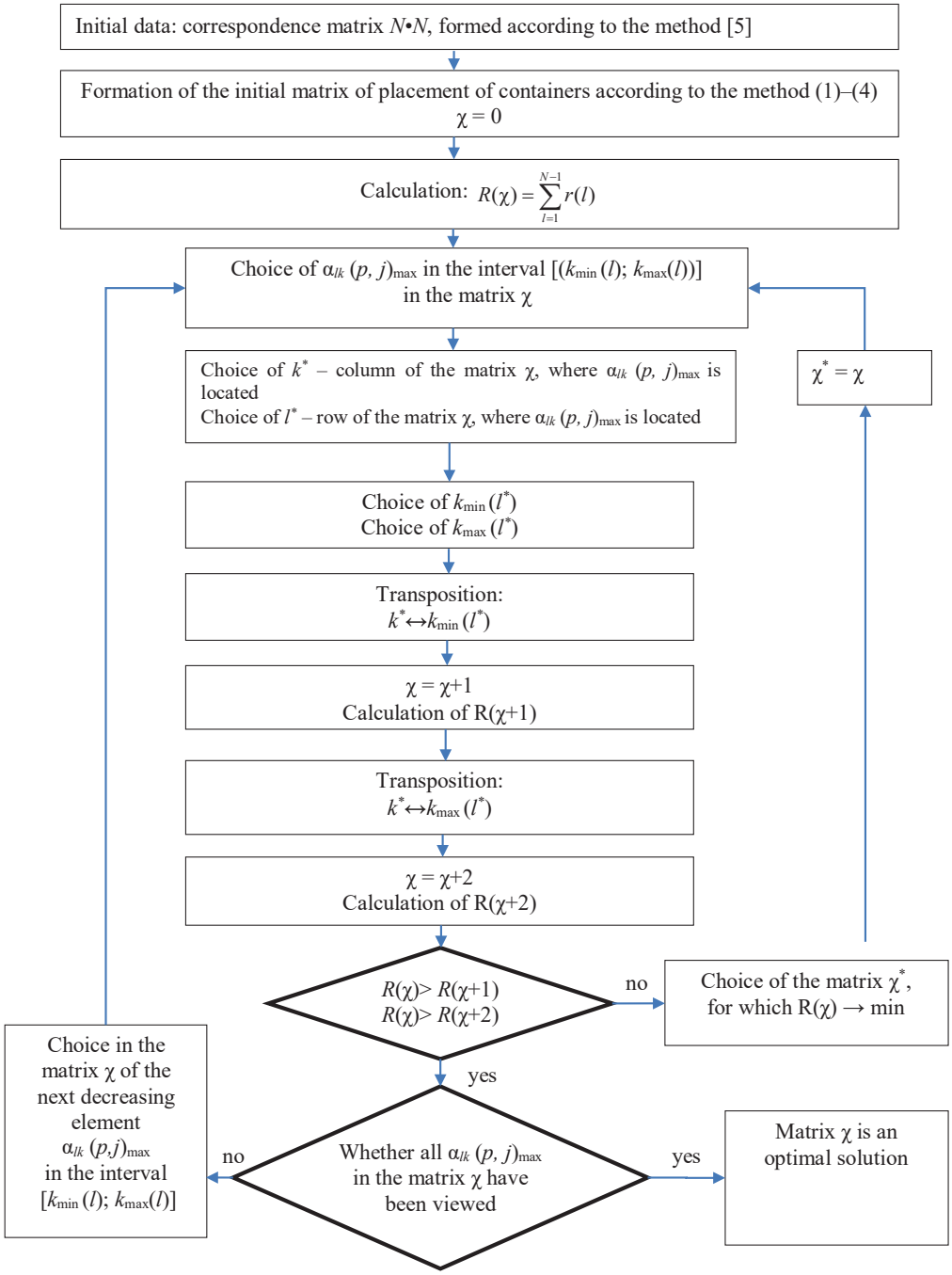
The sequence of operations using the algorithm for optimising placement of containers on the train is as follows:

The first step. The value $R(\chi)$ is calculated in the matrix of arrangement χ. Among the values of the matrix $\alpha_{lk}(p, j)$ in the interval $[(k_{\min}(l); k_{\max}(l))]$, we select the largest element, that is, the value that most affects the criterion $R(\chi)$.

The second step. We perform transposition (permutation of two columns) in the matrix χ: we swap position of the k-th column, in which the element $\alpha_{lk}(p, j)_{\max}$ selected at the first step is located, with the column where $\alpha_{lk\min}(p, j)$ is located in row l. We get the matrix $\chi+1$, and then calculate the value of $R(\chi+1)$.

The third step. We carry out the transposition in the matrix χ: k-th column, in which the element $\alpha_{lk}(p, j)_{\max}$ is located, is swapped with the column where the element $\alpha_{lk\max}(p, j)$ is located in row l. We get the matrix $\chi + 2$, and then calculate the value of $R(\chi+2)$.

The fourth step. If $R(\chi) < R(\chi+1)$ and $R(\chi) < R(\chi+2)$, then the permutations performed at steps 2 and 3 did not allow us to improve the solution, and we go to step 5. Otherwise, from the matrices $\chi + 1$ and $\chi + 2$ we choose the one



Pic. 2. Block diagram of the algorithm for finding the optimal placement of containers in a train intended for en route cargo handling operations (developed by the authors).

for which $R(\chi)$ takes the smallest value, the others are excluded from consideration, and then we go to step 6.

The fifth step. In the matrix of arrangement χ, we find the element $\alpha_{lk}\,(p, j)_{max1}$ next in decreasing value in the interval $(k_{min}(l); k_{max}(l))$; the elements $\alpha_{lk}\,(p, j)_{max}$, chosen earlier, are excluded from consideration. Then we go to step 2.

The sixth step. For the selected matrix, we repeat steps 1–4 until all columns with $\alpha_{lk}\,(p, j)_{max}$ values have been considered, which

Table 2

The initial matrix of arrangement of containers in a train with en route cargo handling operations, $\alpha_{lk}(p, j)$ (TEU) (developed by the authors)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$r(i)$
$3_{(1,2)}$	$2_{(1,2)}$	$18_{(1,2)}$	$12_{(1,3)}$	$6(_{1,3})$	$18_{(1,3)}$	$2_{(1,4)}$	$52_{(1,4)}$	$4_{(1,5)}$	$9_{(1,6)}$	0
$3_{(2,4)}$	$2_{(2,5)}$	$18_{(2,6)}$	$12_{(1,3)}$	$6_{(1,3)}$	$18_{(1,3)}$	$2_{(1,4)}$	$52_{(1,4)}$	$4_{(1,5)}$	$9_{(1,6)}$	0
$3_{(2,4)})$	$2_{(2,5)}$	$18_{(2,6)}$	$12_{(3,4)}$	$6_{(3,5)}$	$18_{(3,6)}$	$2_{(1,4)}$	$52_{(1,4)}$	$4_{(1,5)}$	$9_{(1,6)}$	0
$3_{(4,6)}$	$2_{(2,5)}$	$18_{(2,6)}$	$12_{(4,6)}$	$6_{(3,5)}$	$18_{(3,6)}$	$2_{(4,5)}$	$52_{(4,6)}$	$4_{(1,5)}$	$9_{(1,6)}$	44
$3_{(4,6)}$	$2_{(5,6)}$	$18_{(2,6)}$	$12_{(4,6)}$	$6_{(5,6)}$	$18_{(3,6)}$	$2_{(5,6)}$	$52_{(4,6)}$	$4_{(5,6)}$	$9_{(1,6)}$	100

Table 3

The result of approbation of the algorithm for finding optimal placement of containers in a train intended for en route cargo handling operations (developed by the authors)

Solution option	The largest chosen element	Chosen column	Chosen row	Transposition	Criterion R(χ)	Solution choice
χ	$\alpha_{lk}(p, j)_{max}$	k^*	l^*			
0	52	8	5	–	144	$R(\chi)_{min} = 96$ $\chi = 2$
1				8↔2	150	
2				8↔9	96	
3	18	3	4	3↔1	61	$R(\chi)_{min} = 61$ $\chi = 3$
4				3↔8	202	
5	18	6	4	6↔1	79	$R(\chi)_{min} = 61$ $\chi = 3$
6				6↔8	131	
7	18	6	5	6↔2	51	$R(\chi)_{min} = 49$ $\chi = 8$
8				6↔9	49	
9	12	4	5	4↔2	53	$R(\chi)_{min} = 35$ $\chi = 10$
10				4↔7	35	
11	6	5	4	5↔1	42	$R(\chi)_{min} = 35$ $\chi = 10$
12				5↔8	89	
13	4	9	3	9↔5	31	$R(\chi)_{min} = 31$ $\chi = 13$
14				9↔6	61	
15	4	9	4	9↔1	33	$R(\chi)_{min} = 31$ $\chi = 13$
16				9↔8	91	
17	3	1	5	1↔2	30	$R(\chi)_{min} = 30$ $\chi = 17$
18				1↔5	43	
19	2	2	4	2↔1	31	$R(\chi)_{min} = 30$ $\chi = 17$
20				2↔8	134	

increase the distance between containers of the same destination, and the methods of their permutation have not been used.

The block diagram of the algorithm for finding the optimal placement of containers in a train intended for en route cargo handling operations is shown in Pic. 2.

Approbation of the method of optimal placement of containers in a train intended for en route cargo handling operations

Let's consider a specific example of implementation of the proposed algorithm. Let the matrix of correspondences be formed for the route of a container train intended for en route

$\chi = 0$; $R(0) = 144$

$\alpha_{lk}(p, j)_{max} = 52 \Rightarrow k^* = 8$; $l^* = 5$;
for $l^* = 5$,
$k_{min}(l^*) = 2$, $k_{max}(l^*) = 9$

Transposition by k: 8↔2
$\chi = 1$, $R(1) = 90+42+18 = 150$

i / k	1	**8**	3	4	5	6	7	**2**	9	10	$r(i)$
1	3	52	18	12	6	18	2	2	4	9	0
2	3	52	18	12	6	18	2	2	4	9	90
3	3	52	18	12	6	18	2	2	4	9	0
4	3	52	18	12	6	18	2	2	4	9	42
5	3	**52**	18	12	6	18	2	2	4	9	18

Transposition by k: 8↔9
$\chi = 2$, $R(2) = 48 + 48 = 96$

i / k	1	2	3	4	5	6	7	**9**	**8**	10	$r(i)$
1	3	2	18	12	6	18	2	4	52	9	0
2	3	2	18	12	6	18	2	4	52	9	0
3	3	2	18	12	6	18	2	4	52	9	0
4	3	2	**18**	12	6	18	2	4	52	9	48
5	3	2	18	12	6	18	2	4	**52**	9	48

$R(\chi)_{min} = 96$; choice $\chi = 2$

For $\chi = 2$:
$\alpha_{lk}(p, j)_{max} = 18 \Rightarrow k^* = 3$; $l^* = 4$;
for $l^* = 4$,
$k_{min}(l^*) = 1$, $k_{max}(l^*) = 8$

Transposition by k: 3↔1
$\chi = 3$, $R(3) = 28 + 33 = 61$

i / k	3	2	1	4	5	6	7	**9**	**8**	10	$r(i)$
1	18	2	3	12	6	18	2	4	52	9	0
2	18	2	3	12	6	18	2	4	52	9	0
3	18	2	3	12	6	18	2	4	52	9	0
4	18	2	3	12	6	18	2	4	52	9	28
5	18	2	3	12	6	18	2	4	52	9	33

Further iterations up to obtaining non-improvable $R(\chi)$

Pic. 3. Approbation of the algorithm for finding the optimal placement of containers in a train intended for en route cargo handling operations (a fragment) (developed by the authors).

Table 4

Optimal matrix for arrangement of containers in a train intended for en route cargo handling operations (developed by the authors)

3	1	2	7	9	5	4	6	8	10	$r(i)$
18(1,2)	3(1,2)	2(1,2)	2(1,4)	4(1,5)	6(1,3)	12(1,3)	18(1,3)	52(1,4)	9(1,6)	0
18(2,6)	3(2,4)	2(2,5)	2(1,4)	4(1,5)	6(1,3)	12(1,3)	18(1,3)	52(1,4)	9(1,6)	0
18(2,6)	3(2,4)	2(2,5)	2(1,4)	4(1,5)	6(3,5)	12(3,4)	18(3,6)	52(1,4)	9(1,6)	0
18(2,6)	3(4,6)	2(2,5)	2(4,5)	4(1,5)	6(3,5)	12(4,6)	18(3,6)	52(4,6)	9(1,6)	30
18(2,6)	3(4,6)	2(5,6)	2(5,6)	4(5,6)	6(5,6)	12(4,6)	18(3,6)	52(4,6)	9(1,6)	0

cargo handling operations: Primorsky region–Irkutsk region–Krasnoyarsk region–Sverdlovsk region–Perm region–St. Petersburg (Table 1).

This route is formed based on the author's algorithm presented in [17].

We will form the initial matrix of arrangement of containers.

Let's determine the number of group spaces in the train: K = 9 + 1 = 10 seats. Therefore, we obtain a 5 • 10 arrangement matrix. Using the developed technique, we calculate the values $\alpha_{lk}(p,j)$ which is the number of containers loaded at point i with destination point j, which occupy the k-th group space in a container train, and then we shall develop a container arrangement matrix (Table 2).

Those cells in the matrix are highlighted with coloured background, where the container flow to be unloaded at the point corresponding to the line number is indicated.

Let us calculate the value of the optimality criterion $R(\chi)$ for the original matrix:

$R(0) = 44 + 100 = 144$ TEU.

In practice, the obtained value of $R(\chi)$ means that when carrying out cargo operations with containers at intermediate stations, a handler performs an excessive mileage of 144 • 6,1 = 878,4 meters.

Based on the proposed algorithm, we perform multiple transpositions of the columns of the arrangement matrix. A fragment of the algorithm is shown in Pic. 3.

The result of executing the steps of the algorithm is shown in Table 3.

As a result of 17 iterations, a matrix for arranging containers in a train intended for en route cargo handling operations was obtained (Table 4), further iterations do not lead to a decrease in the value of the objective function $R(17)_{min} = 30$ TEU.

As a result, we obtain the following matrix of optimal placement of containers (Table 4).

Thus, under the given conditions, optimisation of placement of containers in the train makes it possible to reduce the excessive mileage of the loader at intermediate points from 144 • 6,1 = 878,4 meters to 30 • 6,1 = 183 meters, that is, 4,8 times. This will increase speed of cargo operations when relocating containers and reduce operating costs of using loading facilities and vehicles of container terminals.

The proposed algorithm makes it possible to significantly reduce the number of iterations during the search for a solution in comparison with the exhaustive search method and can be subject to implementation as software product.

CONCLUSIONS

The approach to organisation of container block trains presented in the work assumes organisation of traffic according to the principle of passenger traffic: the train is assembled at the station of origin, operates according to the timetable and along the established route with station stops at intermediate container terminals, where containers assigned for this station are removed and containers assigned for next stations are placed on empty spaces on platform wagons. The implementation of the proposed technology will increase competitiveness of railway container transportation both in domestic and transit traffic, create conditions for containerising additional cargo by reducing delivery times and improving quality of transportation services.

The paper presents the authors' method of optimal placement of containers in a train within the framework of the proposed technology for organising traffic. Arbitrary placement of containers at the origin point can cause excessive handlers' mileage at intermediate points during cargo operations. The proposed technique makes it possible to place containers in the train in such a way that the containers intended for each intermediate point were as close as possible to each other. Compared to the exhaustive search method, the algorithm significantly reduces the number of iterations during the search for a solution.

REFERENCES

1. Song Chunhui. Research on Transportation Development of Container Port Starts. *International Core Journal of Engineering*, 2020, Vol. 6, Iss. 9, pp. 292–300. DOI: 10.6919/ICJE.202009_6(9).0037. Last accessed 20.12.2020.

2. Transit of goods in containers in China–Europe–China traffic through the Russian Railways network doubled in January-November [*Tranzit gruzov v konteinerakh v soobshchenii Kitay–Evropa–Kitay po seti RZD udvoilsya v yanvare-noyabre*]. *RZD partner.ru*. [Electronic resource]: https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/news/tranzit-gruzov-v-konteynerakh-v-soobshchenii-kitay-evropa-kitay-po-seti-oao-rzhd-udvoilsya-v-yanvare/. Last accessed 20.12.2020.

3. China–Europe: overland container breakthrough in spite of «economics» [*Kitay–Evropa: sukhoputniy konteinerniy proryv vopreki «ekonomiksu»*]. TELS Expert. 29.01.2019. [Electronic resource]: https://telsgroup.ru/media_center/tels_in_the_press/4691.html. Last accessed 20.12.2020.

4. Say, V. M., Kochneva, D. I. Modelling of Assessment of a Region's Need for Container Transportation. *World of Transport and Transportation*, 2018, Vol. 16, Iss. 4, pp. 160–178. [Electronic resource]: https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1500. Last accessed 20.12.2020.

5. Kochneva, D., Say, V., Siziy, S. Economic and Mathematical Evaluation Model of Interaction Between Container Transportation System and Russian Regions. International Scientific Siberian Transport Forum. Springer, Cham, 2019, pp. 782–790. DOI: 10.1007/978-3-030-37919-3_77. Last accessed 20.12.2020.

6. Moskvichev, O. V., Moskvicheva, E. E., Nikonov, Yu. S. On the issue of consolidation and delivery of single and group container shipments as part of container trains [*K voprosu konsolidatsii i dostavki odinochnykh i gruppovykh konteinernykh otpravok v sostave konteinernykh poezdov*]. *Transport Urala*, 2014, Iss. 2, pp. 15–18. [Electronic resource]: https://www.studmed.ru/transport-urala-2014-02-41-_219e37113a7.html. Last accessed 20.12.2020.

7. Rezer, S. M., Rezer, A. V., Levin, S. B., Nosyrev, I. I. Mathematical modeling of cargo transportation in special containers [*Matematicheskoe modelirovanie perevozok gruzov v spetskonteinerakh*]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Nauchniy informatsionniy sbornik*, 2019, Iss. 5, pp. 3–10. [Electronic resource]: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37820325. Last accessed 20.12.2020.

8. Kirillova, A. G. Actual aspects of development of international transport corridors on the territory of Russia [*Aktualnie aspekty razvitiya mezhdunarodnykh transportnykh koridorov na territorii Rossii*]. *Transport Rossiiskoi Federatsii. Zhurnal o nauke, praktike, ekonomike*, 2018, Iss. 2 (75), pp. 51–54. [Electronic resource]: https://cyberleninka.ru/article/n/aktualnye-aspekty-razvitiya-mezhdunarodnyh-transportnyh-koridorov-na-territorii-rossii/pdf. Last accessed 20.12.2020.

9. Basyrov, I. M., Bilenko, G. M., Basyrov, M. A. Shortened container block trains in multimodal transportation [*Ukorochennie konteinernie blok-poezda v multimodalnykh perevozkakh*]. *Byulleten' transportnoi informatsii*, 2020, Iss. 1, pp. 4–9. [Electronic resource]: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41804989. Last accessed 20.12.2020.

10. Sun, Yan; Li, Xinya. Fuzzy programming approaches for modeling a customer-centred freight routing problem in the road-rail intermodal hub-and-spoke network with fuzzy soft time windows and multiple sources of time uncertainty. *Mathematics*, 2019, Vol. 7, Iss. 8, pp. 739. DOI: 10.3390/math7080739. Last accessed 20.12.2020.

11. Sholihah, S. A. [*et al*]. Coordination model in hinterland chain of hub-and-spoke export trade logistics. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 2018, Vol. 11, Iss. 4, pp. 776–793. DOI: 10.3926/jiem.2538. Last accessed 20.12.2020.

12. Zhao, Yiran; Yang, Zhongzhen; Haralambides, H. Optimizing the transport of export containers along China's coronary artery: The Yangtze River. *Journal of Transport Geography*, 2019, Vol. 77, pp. 11–25. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2019.04.005. Last accessed 20.12.2020.

13. Mantovani, S., Gianluca, M. [*et al*]. The load planning problem for double-stack intermodal trains. *European Journal of Operational Research,* 2018, Vol. 267, Iss. 1, pp. 107–119. DOI: 10.1016/j.ejor.2017.11.016. Last accessed 20.12.2020.

14. Fomin, O. [*et al*]. Research of stability of containers in the combined trains during transportation by railroad ferry. *MM Science Journal*, 2020, Vol. 1, pp. 3728–3733. DOI: 10.17973/MMSJ.2020_03_2019043. Last accessed 20.12.2020.

15. Morganti, G. [*et al*]. Block planning for intermodal rail: Methodology and case study. *Transportation Research Procedia*, 2020, Vol. 47, pp. 19–26. DOI:10.1016/j.trpro.2020.03.068. Last accessed 20.12.2020.

16.Vinogradov, S. A. Container will buy a ticket as a passenger [*Konteineru prodadut bilet kak passazhiru*]. Gudok, Internet-edition, 20.07.2020. [Electronic resource]: https://gudok.ru/ content/first_person/1528250/. Last accessed 01.10.2020.

17. Kochneva, D.I., Chang, Hao. Planning model of block container trains with cargo operations en route [*Model' planirovaniya marshrutnykh konteinernykh poezdov s gruzovymi operatsiyami v puti sledovaniya*]. *Vestnik URGUPS*, 2020, Iss. 4, pp. 46–56. [Electronic resource]: https://www.usurt.ru/vestnik/arxiv/vestnik_UrGUPS_4_2020.pdf. Last accessed 01.10.2020.

18. Chernyshev, Yu. O., Kubil, V. N. Review of dynamic transport routing problems [*Obzor dinamicheskikh zadach marshrutizatsii transporta*]. *Programmnie produkty i sistemy*, 2020, Vol. 33, Iss. 3, pp. 491–501. [Electronic resource]: https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-dinamicheskih-zadach-marshrutizatsii-transporta/pdf. Last accessed 01.10.2020.

19. Maksimov, P. A., Simakov, V. K., Govorov, V. R. Multi-vertex graphs: search for an optimal solution to transport problems [*Mnogovershinnie grafy: poisk optimalnogo resheniya transportnykh problem*]. *Transportnoe delo Rossii*, 2020, Iss. 2, pp. 94–96. [Electronic resource]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_43022651_46125466.pdf. Last accessed 01.10.2020.

20. Saveliev, M. V. On complexity of a problem of combinatorial optimization [*O slozhnosti odnoi zadachi kombinatornoi optimizatsii*]. *Matematicheskie mashiny i sistemy*, 2016, Iss. 4, pp. 106–110. [Electronic resource]: https://cyberleninka.ru/article/n/o-slozhnosti-odnoy-zadachi-kombinatornoy-optimizatsii/pdf. Last accessed 01.10.2020.

УДК 656.225.022.846
DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-1-194-209

Высокоскоростные пассажирские железнодорожные перевозки – приоритет долгосрочного развития



Максим ЖЕЛЕЗНОВ



Олег КАРАСЕВ



Сергей ТРОСТЬЯНСКИЙ



Роман СМИРНОВ

Железнов Максим Максимович *– Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия.*
Карасев Олег Игоревич *– Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия.*
Тростьянский Сергей Сергеевич *– Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия.*
Смирнов Роман Геннадьевич *– Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия*.*

Высокоскоростные пассажирские железнодорожные перевозки являются одним из приоритетов научно-технологического развития для большинства ведущих мировых железнодорожных компаний, обладающих глобальными планами по строительству новых высокоскоростных магистралей (ВСМ).

В данной статье предлагается обзорный анализ планов отдельных стран по строительству высокоскоростных магистралей и приоритетных технологий/решений, необходимых для эффективного предоставления услуг высокоскоростных пассажирских перевозок. Резюмируются затраты и выгоды при строительстве ВСМ. Отдельно приводятся сопоставление перспективных технологий и внедряемых технических решений, оценка уровня их готовности, а также характеристики эксплуатируемых ведущими компаниями высокоскоростных поездов. В ряду наиболее важных внедряемых технологий выделяются интеллектуальные системы автономного управления поездами и дистанционного диспетчерского управления, цифрового моделирования объектов инфраструктуры и подвижного состава, имитационного моделирования взаимодействия подвижного состава и инфраструктуры, автоматизированных систем поддержки принятия управленческих решений, аэрокосмического мониторинга инфраструктурных объектов, комплексного оперативного мониторинга состояния подвижного состава и инфраструктуры в режиме реального времени.

Делаются выводы о перспективности ведения железнодорожными компаниями научных исследований в области передовых технологий, возможности для России выйти в первый эшелон стран с развитыми высокоскоростными железнодорожными пассажирскими перевозками.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, ВСМ, высокоскоростной подвижной состав, мультимодальные перевозки, перевозки «от двери до двери», приоритетные технологии, МСЖД.

---

*Информация об авторах:
Железнов Максим Максимович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (НИУ МГСУ), Москва, Россия, ✉ M.Zheleznov@mail.ru.
Карасев Олег Игоревич – кандидат экономических наук, директор центра научно-технологического прогнозирования экономического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия, oikarasev@econ.msu.ru.
Тростьянский Сергей Сергеевич – заместитель директора Центра хранения и анализа больших данных МГУ имени М. В. Ломоносова, strostiansky@yandex.ru.
Смирнов Роман Геннадьевич – ведущий специалист Центра хранения и анализа больших данных, МГУ имени М. В. Ломоносова, r.smirnov.mailbox@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 03.07.2019, актуализирована 04.12.2020, 05.03.2021, принята к публикации 10.03.2021.

For the English text of the article please see p. 202.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из стратегических приоритетов долгосрочного развития ведущих железнодорожных компаний является предоставление услуг высокоскоростных пассажирских перевозок. Данное направление выделяется компаниями наравне с развитием и внедрением цифровых решений, направленных, в первую очередь на повышение уровня комфорта и оптимизацию структуры затрат. Развитие высокоскоростных перевозок ориентировано непосредственно на удовлетворение потребительских предпочтений – комфортное передвижение за максимально короткий промежуток времени.

При условии возросшей потребности населения в транспортных услугах «от двери до двери» высокоскоростные пассажирские перевозки представляют собой основную категорию транспорта, на базе которого возможно фундаментальное развитие мультимодальных перевозок. На основании данных Международного союза железных дорог (МСЖД) время в пути «от двери до двери» при использовании высокоскоростных пассажирских перевозок в качестве основного средства передвижения достигает 2 ч 55 мин. Ближайшим конкурентом являются обычные железнодорожные перевозки – 3 ч 40 мин [1].

Развитие подобного типа пассажирских перевозок стоит на повестке у большинства ведущих зарубежных железнодорожных компаний: совокупная, планируемая к строительству длина высокоскоростных железнодорожных магистралей в 2019 году составляла 40,5 тыс. км [2; 3] (табл. 1).

По данным МСЖД на конец 2020 года на стадии строительства находились 11 693 км ВСМ, эксплуатировались 52 418 км, из которых 39 674 км – в Азии, 10 766 км – в Европе, 1 043 км – на Ближнем Востоке, 735 км – в Северной Америке, 200 км в Африке. ВСМ КНР протяжённостью 35 740 км составляли 68 % мировой сети [4]. По словам М. Гигона, директора пассажирского департамента МСЖД, в течение 5–6-летнего периода сеть ВСМ увеличится почти на 25 %, причём на долю КНР придётся только около половины длины вводимых линий, так как темпы строительства в КНР замедляются ввиду достижения запланированных объёмов развёртываемой сети ВСМ. Среди стран, которые в ближайшее время введут в эксплуатацию собственные сети ВСМ или расширят их до уровня соседних стран, – Турция, Испания, Южная Корея, Швейцария. В числе реализуемых проектов отмечается ВСМ Basque Y, на которой сооружается более 100 км тоннелей и 44 виадука, ВСМ the HS2 line в Великобритании, стоимость строительства 1 км которой станет самой высокой в мире, 50-километровый тоннель на линии Лион–Турин, ВСМ в Калифорнии между Лос-Анжелесом и Сан-Франциско. За прошедший период завершено строительство ВСМ в Саудовской Аравии (2018), Марокко (2018) и Дании (2019). В числе стран, рассматривающих проекты строительства ВСМ, – Швеция (и в более широком плане скандинавские страны), Чехия, страны Прибалтики, Россия, Египет, Южная Африка, Австралия, Канада, Бразилия, Иран, Израиль, Индонезия, Малайзия, Сингапур. Отдельно представитель МСЖД отметил такие большие по

Таблица 1

Планы строительства ВСМ в зарубежных странах по состоянию на 28.03.2019 г. (на основе [3])

Страна	На этапе строительства, км	Запланировано, км	Запланировано в долгосрочном периоде, км
Китай	7207	1071	257
Япония	402	194	–
Корея	–	49	–
Франция	–	–	1725
Испания	904	1061	–
Германия	147	81	210
Италия	53	–	152

Таблица 2

Длина эксплуатируемых ВСМ по странам [5]

Страна	Протяжённость ВСМ, км
Китай	38283
Испания	3487
Япония	3041
Франция	2735
Германия	1571
Финляндия	1120
Италия	921
Республика Корея	893
Швеция	860
США	735
Турция	724
Саудовская Аравия	449
Австрия	254
Польша	224
Бельгия	209
Марокко	186
Швейцария	178
Великобритания	113
Нидерланды	90
Дания	56

территории страны, как Россию и США, которые могли бы развернуть крупномасштабные сети ВСМ, а также Индию, обладающую потенциалом с точки зрения пространства и демографии. Отдельно обозначается Италия, где продвигается оригинальная инициатива создания первых высокоскоростных грузовых поездов [4].

По данным подготовленного в начале марта 2021 года нового издания Атласа ВСМ МСЖД [5] на начало 2021 года в эксплуатации находилось около 56 129 км ВСМ. Распределение протяжённости линий ВСМ, находящихся в коммерческой эксплуатации, по некоторым странам представлено в табл. 2.

Распределение по континентам находящихся в эксплуатации, строящихся, непосредственно планируемых и планируемых в долгосрочной перспективе ВСМ представлено в табл. 3.

В Атласе приведены подробные данные в разбивке по странам. Для сравнения с планами 2019 года в табл. 4 приводятся данные по указанным ранее в табл. 1 и некоторым другим странам, новые или изменённые данные показаны на сером фоне.

Опубликованные в начале февраля 2021 года МСЖД данные по пассажирообороту ВСМ [6] иллюстрируют в целом устойчивую позитивную динамику роста (в табл. 5 приводятся данные по отдельным годам).

В задачи исследования не входит подробный анализ развития проектов ВСМ в России, что требует отдельного детального рассмотрения. По мнению ряда руководителей транспортного комплекса, по состоянию на 2020 год строительство высокоскоростной магистрали (ВСМ) Москва–Санкт-Петербург планировалось начать в 2021 году. До 2024 года будет готов участок выхода магистрали из Москвы. Рассматривалась возможность реализации проекта целиком в 2027 году[1]. Темпы строительства оценивались по экспертным оценкам в 180 км в год[2].

Процесс строительства ВСМ планируется также интегрировать с Московским транс-

[1] Строительство высокоскоростной магистрали Москва–Санкт-Петербург начнётся в 2021 году. ИТАР-ТАСС, 28.09.2020 [Электронный ресурс]: https://tass.ru/ekonomika/9570861. Доступ 04.12.2020.

[2] Темпы строительства ВСМ в России должны составить до 180 км в год. Информационное агентство РЖД-партнер.ру, [Электронный ресурс]: https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/news/tempy-stroitelstva-vsm-v-rossii-dolzhny-sostavit-do-180-km-god/. Доступ 10.03.2021.

Таблица 3

Планы строительства ВСМ по регионам по состоянию на март 2021 года (на основе [5])

Регион	В коммерческой эксплуатации, км	На этапе строительства, км	Запланировано, км	Запланировано в долгосрочном периоде, км
Европа	11819	2405	5713	3482
АТР	42217	16515	7357	18320
Ближний Восток	1173	3079	2146	1831
Африка	186	–	2010	2690
Северная Америка	735	563	1869	6044
Латинская Америка	–	–	–	638

Таблица 4

Планы строительства ВСМ в зарубежных странах по состоянию на март 2021 года (на основе [5])

Страна	На этапе строительства, км	Запланировано, км	Запланировано в долгосрочном периоде, км
КНР	14925	4361	7134
Япония	688	346	–
Корея	–	49	–
Индия	508		7479
Франция	–	–	1725*
Испания	1135	943	–
Германия	147	81	210
Италия	327	–	–
Австралия			1749
Египет		1370	300
Марокко			640
Канада			1523
США	563	1659	4521
Иран	1336	117	1651
Турция	1743	1944	

* включая модернизацию ВСМ Париж–Лион и обход Лиона.

Таблица 5

Данные по пассажирообороту ВСМ (млрд пассажиро-км) (на основе [6]) на 02.02.2021 года

Страна	2010	2015	2017	2019
КНР (Китайская государственная железнодорожная группа компаний / China State Railway Group Company)	46,3	386,3	577,6	774,7
Китайский Тайбэй (Тайваньская корпорация высокоскоростного сообщения/Taiwan High Speed Rail Corp.)	7,5	9,7	11,1	12,0
Япония (JR Group)	77,4	97,4	101,4	99,3
Республика Корея (Korail)	11	15,1	14,9	16,0
Франция (СНЦФ-Мобильность/SNCF Mobilit)	51,9	50,0	58,3	60
Германия (Дойче Бан/DB AG)	23,9	25,3	28,5	33,2
Испания (РЕНФЕ-эксплуатация/Renfe Operadora)	11,7	14,1	15,5	16,1
Италия (Трениталия/Trenitalia)	8,0	9,7	9,8	НД
Италия (НТВ/NTV)	–	3,9	5,3	НД
Другие компании	7,3	631,5	846,9	1029,4

портным узлом и пригородными направлениями [7]: на повестке стоит вопрос по взаимной увязке ВСМ с метрополитеном, наземным городским транспортом, Московским центральным кольцом и внутригородским железнодорожным сообщением.

Целью исследования является обзорный анализ особенностей экономической целесообразности строительства высокоскоростных магистралей, приоритетных технологий/решений, необходимых для эффективного предоставления услуг высокоскоростных пассажирских перевозок на основе контент-анализа документов и статистических данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Экономическая целесообразность создания ВСМ

В мировой практике вопрос экономической целесообразности строительства ВСМ является довольно «острым». Однако в соответствии с данными МСЖД, при условии достаточного перераспределения пассажиропотока с альтернативных категорий транспорта (авиация и автомобили, автобусы) выгоды от строительства ВСМ являются достаточными для реализации подобных инфраструктурных проектов (табл. 6).

Необходимо отметить, что строительство и обслуживание ВСМ требуют значи-

Таблица 6

Затраты и выгоды при строительстве ВСМ (на основе [1])

Этап	Затраты	Выгоды
До строительства	• Проектные исследования. • Административные процедуры. • Приобретение земли. • *Строительство станций.* • *Строительство инфраструктуры.* • Проведение испытаний и сертификация. • Защита окружающей среды. • *Выбросы CO_2 от промышленных установок.* • Приобретение подвижных составов. • Строительство объектов технического обслуживания. • Выбросы CO_2 в ходе конструкции поездов и инфраструктуры. • Обучение персонала.	• Повышение занятости (рабочие места, созданные для строительства инфраструктуры). • Повышение занятости (рабочие места, созданные для производства поездов). • Повышение занятости (рабочие места, созданные для осуществления операционной деятельности).
После строительства	• Маркетинг и распространение билетов. • Выработка/покупка энергии. • Организация перевозок (в т.ч. оплата труда). • Предоставление услуг пассажирам. • Обслуживание инфраструктуры. • Техническое обслуживание поездов. • Выбросы CO_2 в ходе эксплуатации линии.	• Повышение уровня безопасности транспорта (снижение объёма компенсационных выплат). • *Сокращение расходов другими категориями транспорта в результате изменения маршрута основного трафика.* • *Сокращение выбросов CO_2 другими категориями транспорта в результате изменения маршрута основного трафика.* • Время, сэкономленное пассажирами. • Увеличение пассажиропотока.

Курсивом выделены пункты, обладающие значительным влиянием.

Таблица 7

Шкала оценки уровня готовности (освоения) технологий

УГТ	Описание УГТ
УГТ1	Основные принципы технологии изучены и опубликованы
УГТ2	Концепция технологии и/или её применения сформулированы
УГТ3	Критические функции и/или характеристики подтверждены аналитическим и экспериментальным путём
УГТ4	Компонент и/или макет испытаны в лабораторном окружении
УГТ5	Компонент и/или макет испытаны в окружении, близком к реальному
УГТ6	Модель системы/подсистемы или прототип продемонстрированы в окружении, близком к реальному
УГТ7	Прототип системы продемонстрирован в условиях эксплуатации
УГТ8	Реальная система завершена и квалифицирована в ходе испытаний и демонстрации
УГТ9	Реальная система подтверждена путём успешной эксплуатации (достижения цели)

Источник: Национальный стандарт Российской Федерации: Трансфер технологий. Методические указания по оценке уровня зрелости технологий. ГОСТ Р 58048-2017 (введён в действие 01.06.2018 г.).

тельных инвестиций. Однако реализация подобного инфраструктурного проекта предполагает как наличие прямых экономических эффектов (увеличение пассажиропотока вследствие сокращения времени пассажирами в пути), так и косвенных эффектов:

• повышение уровня безопасности;

• повышение уровня высококвалифицированного персонала и, соответственно, рост высокопроизводительных рабочих мест (повышение уровня производительности);

• сокращение расходов на функционирование смежных отраслей;

• улучшение экологической ситуации вследствие сокращения выбросов CO_2.

ВСМ и перспективные технологии

Процесс строительства ВСМ, являющийся одним из звеньев системы приоритетов научно-технологического развития ведущих железнодорожных компаний, очень сильно коррелирует с развитием новых перспективных технологий и решений в области как обеспечения перевозок, так и технического обслуживания и ремон-

Таблица 8

Уровень готовности (освоения) технологий и решений в области ВСМ в ведущих зарубежных железнодорожных компаниях

Технология/ решение в области ВСМ	УГТ		
	Компания	2017 год	2025 год (прогноз)
Интеллектуальные системы информационно-управляющей поддержки автономного управления поездами и системы дистанционного диспетчерского управления	DB (Германия)	УГТ9	УГТ9
	FS Italiane (Италия)	УГТ9	УГТ9
	JR Group (Япония)	УГТ9	УГТ9
	SBB-CFF-FFS (Швейцария)	УГТ9	УГТ9
Цифровое моделирование и построение цифровых моделей объектов инфраструктуры и подвижного состава с использованием спутниковых технологий и высокоточных координатных систем	Network Rail (Англия)	УГТ9	УГТ9
	DB (Германия)	УГТ9	УГТ9
Имитационное моделирование взаимодействия подвижного состава и инфраструктуры высокоскоростного движения для обеспечения энергоэффективности и безопасности с помощью использования алгоритмов обработки «больших данных»	Deutsche Bahn	УГТ9	УГТ9
	FS Italiane (Италия)	УГТ3	УГТ5
	Network Rail (Англия)	УГТ5	УГТ7
	SBB-CFF-FFS (Швейцария)	УГТ9	УГТ9
	SNCF (Франция)	УГТ9	УГТ9
Автоматизированные системы поддержки принятия управленческих решений и планирования технического содержания инфраструктуры и подвижного состава	Deutsche Bahn	УГТ9	УГТ9
	NSB (Норвегия)	УГТ8	УГТ9
	ÖBB (Австрия)	УГТ9	УГТ9
Аэрокосмический мониторинг инфраструктурных объектов железнодорожного транспорта и прилегающих территорий (в том числе для предупреждения чрезвычайных ситуаций и с использованием беспилотных летательных аппаратов (дронов)	DB (Германия)	УГТ9	УГТ9
	Network Rail (Англия)	УГТ9	УГТ9
	SNCF (Франция)	УГТ9	УГТ9
Технологии комплексного оперативного мониторинга состояния подвижного состава и инфраструктуры в режиме реального времени	DB (Германия)	УГТ9	УГТ9
	CR (Китай)	УГТ9	УГТ9
	JR Group (Япония)	УГТ9	УГТ9
	SBB-CFF-FFS (Швейцария)	УГТ8	УГТ9

Источник: на основе официальных сайтов, пресс-релизов и годовых отчётов ведущих зарубежных железнодорожных компаний.

та. Наиболее перспективные технологии и решения, оказывающие значимое влияние на развитие ВСМ, следующие:

• интеллектуальные системы информационно-управляющей поддержки автономного управления поездами и системы дистанционного диспетчерского управления;

• цифровое моделирование и построение цифровых моделей объектов инфраструктуры и подвижного состава с использованием спутниковых технологий и высокоточных координатных систем [8];

• имитационное моделирование взаимодействия подвижного состава и инфраструктуры высокоскоростного движения для обеспечения энергоэффективности и безопасности с помощью использования алгоритмов обработки «больших данных» [9];

• автоматизированные системы поддержки принятия управленческих решений и планирования технического содержания инфраструктуры и подвижного состава [10];

• аэрокосмический мониторинг инфраструктурных объектов железнодорожного транспорта и прилегающих территорий (в том числе для предупреждения чрезвычайных ситуаций и с использованием беспилотных летательных аппаратов (дронов) [11];

• технологии комплексного оперативного мониторинга состояния подвижного состава и инфраструктуры в режиме реального времени [8].

Таблица 9

Типы высокоскоростных поездов, эксплуатируемых и планируемых к эксплуатации ведущими зарубежными железнодорожными компаниями (на основе [5])

Компания	Кол-во типов поездов	Кол-во поездов	Пл. кол-во поездов	Макс. констр. скорость, км/ч	Макс. экспл. скорость, км/ч	Производитель
China Railway (CR) (КНР)	27	2471	167	400	350	CSR-Bombardier, Kawasaki Heavy Industries, CSR-Sifang, Siemens, CNR- Tanshang, CNR-Changchun, Alstom, CSR-Puzhen Rolling Stock Co. Ltd., CRRC Tangshan, CRRC, CRRC–Changchun
Renfe Operadora (Испания)	15*	229	60	350	300	Alstom, Talgo-Bombardier, Siemens, CAF Alstom
JR Group: JWR, JRC, JRE, JRK, JRH (Япония)	27**	408***	59	320	320	Hitachi, Kawasaki Heavy Industries, Kinki Sharyo, Nippon Sharyo, Tokyu Car Corporation (J-TREC)
SNCF (Франция)	15	414****	–	320	320	Alstom
DB AG (Германия)	12	240*****	137	330	320	Siemens-Bombardier, Alstom
Trenitalia, NTV (Италия)	14	190******	103	400	300	Bombardier, Alstom, Alstom-Hitachi Rail Italy-Bombardier, Ansaldobreda, Ansaldobreda-Alstom-Bombardier, Siemens-Bombardier-Alstom, Siemens-Bombardier
Korail, SR (Южная Корея)	4	97	–	330	300	Alstom, Hyundai Rotem

* Учитывая один тип подвижного состава, эксплуатация которого завершается, и два типа, вводимых в эксплуатацию.
** Включая 7 неэксплуатируемых сейчас типов ПС.
*** Возможны некоторые расхождения ввиду формата данных в источнике.
**** Без учёта 66 поездов совместной эксплуатации с SBB (Швейцария), Eurostar, Thalys.
***** Без учёта 46 поездов совместной эксплуатации с NS (Нидерланды), OBB (Австрия), DSB (Дания).
****** Без учёта 31 поезда совместной эксплуатации с SBB (Швейцария).

Большинство представленных технологий и решений находится на последнем уровне готовности (освоения) (далее – УГТ) (табл. 7) у большинства ведущих зарубежных железнодорожных компаний (табл. 8).

Подвижной состав ВСМ

Помимо выделенных выше приоритетных технологий и решений в области ВСМ основополагающим элементом организации высокоскоростных пассажирских перевозок является специализированный подвижной состав. Мировыми лидерами в разрезе количества типов эксплуатируемых высокоскоростных поездов являются CR (Китай) и JR Group (Япония) (табл. 9).

Среди ведущих зарубежных железнодорожных компаний в разрезе максимальных конструкционных и максимальных эксплуатационных скоростей эксплуатируемых поездов абсолютным лидером является китайская железнодорожная компания China Railways (далее – CR), в значительной степени опережающая ближайших конкурентов по всем показателям. Эксплуатируемый парк высокоскоростных поездов CR превосходит ближайшего конкурента, JR Group, более чем в пять раз.

ВЫВОДЫ

Глобальные планы строительства ВСМ по всему миру определяют настоящее направление в качестве одного из приоритетных. УГТ большинства технологий и решений, необходимых для качественного и эффективного предоставления услуг по высокоскоростным пассажирским железнодорожным перевозкам в мире находится на высоких уровнях, что предопределяет высокую вероятность дальнейшего развития деятельности компаний в данном направлении.

Наличие у ряда компаний подвижного состава, максимальная конструкционная скорость которых равняется 400 км/ч, также позволяет сделать вывод о приоритетном векторе научно-технологического развития – повышение скорости передвижения поездов. Железные дороги ведут активную научно-исследовательскую деятельность в целях ещё большего повышения эффективности и скорости: китайские и японские национальные железнодорожные компании являются лидерами в области технологий маглев и вакуумного подвижного состава.

Российская Федерация в рамках реализации собственной политики по развитию ВСМ должна опираться на лучший мировой опыт и с учётом значительного накопленного научно-технологического потенциала имеет все возможности выйти в первый эшелон стран с развитыми высокоскоростными железнодорожными пассажирскими перевозками.

ЛИТЕРАТУРА

1. High Speed Rail. Fast Track to Sustainable Mobility (UIC report) [Электронный ресурс]: https://uic.org/IMG/pdf/uic_high_speed_2018_ph08_web.pdf. Доступ 08.07.2020.

2. UIC High-Speed Databases [Электронный ресурс]: https://uic.org/high-speed-database-maps. Доступ 09.07.2019.

3. UIC High Speed Databases [Электронный ресурс]: https://uic.org/IMG/pdf/20190319_high_speed_lines_in_the_world.pdf. Доступ 09.07.2019.

4. Guigon, M. The perpetual growth of high-speed rail development. Global Railway Review, 2020, Iss. 4, article published 03.11.2020. [Электронный ресурс]: https://www.globalrailwayreview.com/article/112553/perpetual-growth-high-speed-rail/. Доступ 04.12.2020.

5. Atlas High-Speed Rail 2021 [Электронный ресурс]: https://uic.org/IMG/pdf/uic-atlas-high-speed-2021.pdf. Доступ 10.03.2021.

6. High Speed Traffic in The World (UIC) [Электронный ресурс]: https://uic.org/IMG/pdf/20210201_high_speed_passenger_km.pdf. Доступ 10.03.2021.

7. Косой В. В. России нужны высокоскоростные магистрали // Транспорт Российской Федерации // Журнал о науке, практике, экономике. – 2016. – № 5 (66). – С. 16–20. [Электронный ресурс]: https://cyberleninka.ru/article/n/rossii-nuzhny-vysokoskorostnye-magistrali/pdf. Доступ 08.07.2020.

8. Железнов М. М. Основные направления исследований в области мониторинга и технического обслуживания железнодорожного пути на основе спутниковых технологий // Вестник транспорта Поволжья. – 2011. – № 6. – С. 59–64. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17781639. Доступ 08.07.2020.

9. Певзнер В. О., Соловьёв В. П., Железнов М. М., Надежин С. С. Научные основы моделирования взаимодействия пути и подвижного состава в современных условиях эксплуатации // Бюллетень Объединённого учёного совета ОАО «РЖД». – 2014. – № 4. – С. 8–14.

10. Железнов М. М. Развитие и внедрение инновационных технологий в информационно-технологическую систему технического обслуживания железнодорожного пути // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2012. – № 6. – С. 1–5. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18261667. Доступ 08.07.2020.

11. Железнов М. М., Пономарёв В. М. Аэрокосмические методы мониторинга чрезвычайных ситуаций на территории пролегания железнодорожной инфраструктуры // Мир транспорта. – 2017. – № 4. – С. 214–227. [Электронный ресурс]: https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1263/1539. Доступ 08.07.2020.

12. Железнов М. М., Завьялов С. Ю. Оперативный мониторинг потенциально опасного взаимодействия железной дороги с окружающей средой // Железнодорожный транспорт на современном этапе развития: Сб. трудов молодых ученых ОАО «ВНИИЖТ» / Под ред. М. М. Железнова, Г. В. Гогричиани. – М.: Интекст, 2013. – С. 214–218.

Благодарности. Авторы выражают признательность коллегам, принимавшим участие в исследованиях, результаты которых были использованы при подготовке данной статьи: Ракову Дмитрию Александровичу, ведущему специалисту Центра хранения и анализа больших данных МГУ имени М. В. Ломоносова; Шитову Егору Александровичу, ведущему специалисту Центра хранения и анализа больших данных МГУ имени М. В. Ломоносова; Белошицкому Алексею Валерьевичу, заместителю директора Центра хранения и анализа больших данных МГУ имени М. В. Ломоносова; Смирновой Татьяне Викторовне, ведущему экономисту экономического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова; Терещенко Игорю Александровичу, ведущему специалисту Центра хранения и анализа больших данных МГУ имени М. В. Ломоносова; Шитовой Юлии Александровне, ведущему специалисту Центра хранения и анализа больших данных МГУ имени М. В. Ломоносова.

DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-1-194-209

High-Speed Passenger Railway Transportation: Priority for Long-Term Development









Maxim M. ZHELEZNOV **Oleg I. KARASEV** **Sergey S. TROSTYANSKY** **Roman G. SMIRNOV**

Zheleznov, Maxim M., *National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia.*
Karasev, Oleg I., *Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia.*
Trostyansky, Sergey S., *Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia.*
Smirnov, Roman G., *Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*.*

ABSTRACT

High-speed passenger railway transportation is one of the priorities of scientific and technological development for most of the leading world railway companies that have global plans for construction of new high-speed rail lines (HSR).

General review refers to plans of selected countries regarding construction of high-speed railways and the priority technologies/solutions required for the efficient provision of high-speed passenger services, as well as to costs and advantages associated with HSR construction. Besides, comparison of promising technology and adopted technical solutions is followed by assessment of their readiness level, and by features of HS trains operated by leading companies. Most important technologies comprise intelligent systems of autonomous train operation, remote traffic control, digital simulation of interaction of rolling stock and infrastructure, automated decision support systems, geospatial infrastructure monitoring, and real-time remote condition monitoring of rolling stock and infrastructure.

Conclusions drawn argue in favour of promising character of research in the field of breakthrough technology conducted by railways, possibilities for Russia to join the countries with most advanced high-speed rail passenger transportation.

Keywords: railways, HSR, high-speed rolling stock, multimodal transportation, door-to-door transportation, priority technologies, UIC.

---

*Information about the authors:
Zheleznov, Maxim M. – D.Sc. (Eng), Associate Professor, Professor of the Department of Information Systems, Technologies and Automation in Construction of National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, ✉ M.Zheleznov@mail.ru.
Karasev, Oleg I. – Ph.D. (Economics), Director of the Centre of Scientific and Technological Forecasting of the Faculty of Economics of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, oikarasev@econ.msu.ru.
Trostyansky, Sergey S. – Deputy Director of Centre for Storage and Analysis of Big Data of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, strostiansky@yandex.ru.
Smirnov, Roman G. – Lading Specialist of the Centre for Storage and Analysis of Big Data of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, r.smirnov.mailbox@gmail.com.

Article received 03.07.2019, updated 04.12.2020, 05.03.2021, accepted 10.03.2021.

For the original Russian text of the article please see p. 194.

INTRODUCTION

One of the strategic priorities for long-term development of leading railway companies is provision of high-speed passenger transportation services. This direction is distinguished by companies on a par with development and implementation of digital solutions aimed, first, at increasing the level of comfort and optimising the cost structure. The development of high-speed transportation is focused directly on meeting consumer preferences associated with comfortable travel in the shortest possible time.

Given the increased demand of the population for door-to-door transport services, high-speed passenger transportation is the main category of transport, based on which a fundamental development of multimodal transportation is possible. According to the data of the International Union of Railways (UIC), the door-to-door travel time when using high-speed passenger transportation as the main means of transportation reaches 2 hours 55 minutes. The closest competitor is conventional railway transportation that accounts for 3 hours 40 minutes [1].

The development of this type of passenger transportation is on the agenda of most of the leading foreign railway companies: the total length of high-speed railways planned for construction was in 2019 of 40,5 thousand km [2; 3] (Table 1).

The UIC data as of the end of 2020 showed that 11,693 km of high-speed lines were under construction around the world. The high-speed network in commercial operation was 52,418 km long, out of which 39,674 km were in Asia, 10,766 km in Europe, 1,043 km in the Middle East, 735 km in North America and 200 km in Africa. With 35,740 km in operation, China represented more than 68 per cent of the world's high-speed rail network [4]. According to Marc Guigon, Passenger Director at the UIC, «in five to six years' time, the network will have grown by almost 25 per cent, but China will contribute only approximately 50 per cent to this extension» since the extension rate in PRC will slow down because the network is reaching its full deployment. Turkey, Spain, South Korea, and Switzerland are among the countries that are still completing their own network and/or extending it to reach the neighbouring countries. On-going projects are worth noticing: the Basque Y, which is a feat of infrastructure with more than 100 km of tunnels and 44 viaducts; the HS2 line in the UK, which will be the most expensive line per kilometre in the world; the Lyons–Torino tunnel (more than 50 km); the Californian link between Los Angeles and San Francisco. Several countries have recently completed the construction of HSR: Saudi Arabia (2018), Morocco (2018) and Denmark (2019). Several other new countries are eyeing the implementation of high-speed rail: Sweden, and more extensively Scandinavia, the Czech Republic, the Baltic countries, Russia, Egypt, South Africa, Australia, Canada, Brazil, Iran, Israel, Indonesia, Malaysia, and Singapore. The UIC passenger director particularly noticed vast countries which could extend the network in huge proportions, like the United States and Russia, as well as India has both the geographic and demographic potentials. An original initiative should be pointed out in Italy, with the first freight high-speed trains [4].

According to the data of new UIC Atlas High-Speed Rail 2021 prepared in early March 2021 [5] at the beginning of 2021 about 56,129 km of HSR were in commercial operation. Distribution of the length of HSR network in commercial operation by selected countries is shown in Pic. 2.

Table 1

Plans for HSR construction in selected countries as of 28.03.2019 (compiled based on [3])

Country	Under construction, km	Planned, km	Long-term planning, km
China	7207	1071	257
Japan	402	194	–
Korea	–	49	–
France	–	–	1725
Spain	904	1061	–
Germany	147	81	210
Italy	53	–	152

Table 2

Length of HSR network in commercial operation by countries [5]

Countries	HSR network length, km
China	38283
Spain	3487
Japan	3041
France	2735
Germany	1571
Finland	1120
Italy	921
Republic of Korea	893
Sweden	860
United States	735
Turkey	724
Saudi Arabia	449
Austria	254
Poland	224
Belgium	209
Morocco	186
Switzerland	178
United Kingdom	113
The Netherlands	90
Denmark	56

Distribution of the HSR in commercial operation, under construction, planned and long-term planned by continents is shown in Table 3.

The Atlas comprised detailed data distributed by countries. To compare 2019 and 2021 data the Table 4 includes data on the countries previously indicated in Table 1 as well as on some other countries. The changed data are highlighted with grey background.

The UIC data on passenger turnover published in February 2021 [6] show steady growth trend (Table 5 shows data on selected countries).

The study has not set the purpose to analyse HSR project development in Russia since it requires detailed examination. According to some top managers of construction industry, as of 2020 the start of construction of HSR Moscow–St. Petersburg was planned in 2021. The section of the HSR exiting Moscow will have been built by 2024. The possibility to completely implement the project in 2027 was considered[1]. The speed of construction was estimated according to experts as 180 km per year[2].

The process of HSR construction is planned to be integrated with Moscow transportation hub and suburban rail lines [7]: the discussion agenda includes mutual interconnection with metro, surface urban transport, Moscow central ring, and intracity rail transportation system.

The objective f the study was general review of features of economic feasibility of construction of HSR lines, of priority technology/decisions necessary for provision of service of HSR transportation based on statistics data and content analysis of the documents.

[1] Construction of HSR line Moscow–St. Petersburg will start in 2021 [*Stroitelstvo vysokoskorostnoi magistrali Moskva–Sankt Peterburg nachnyotsia v 2021 godu*]. ITAR-TASS, 28.09.2020 [Electronic resource]: https://tass.ru/ekonomika/9570861. Last accessed 04.12.2020.

[2] The speed of construction of HSR in Russia should reach about 180 km per year [*Tempy stroitelstva VSM v Rossii dolzhny sostavit' do 180 km v god*]. News agency RZhD-partner.ru. [Electronic resource]: https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/news/tempy-stroitelstva-vsm-v-rossii-dolzhny-sostavit-do-180-km-god/. Last accessed 10.03.2021.

Table 3

HSR construction plans by continents as of March 2021 (based on [5])

Continent	In commercial operation, km	Under construction, km	Planned, km	Long-term planning, km
Europe	11819	2405	5713	3482
APR	42217	16515	7357	18320
Middle East	1173	3079	2146	1831
Africa	186	–	2010	2690
North America	735	563	1869	6044
Latin America	–	–	–	638

Table 4

Plans of HSR construction in selected countries as of March 2021 (compiled based on [5])

Country	Under construction, km	Planned, km	Long-term planning, km
PRC	14925	4361	7134
Japan	688	346	–
Korea	–	49	–
India	508		7479
France	–	–	1725*
Spain	1135	943	–
Germany	147	81	210
Italy	327	–	–
Australia			1749
Egypt		1370	300
Morocco			640
Canada			1523
United States	563	1659	4521
Iran	1336	117	1651
Turkey	1743	1944	

* including modernisation of HSR Paris–Lyon, and construction of detour of Lyon.

RESULTS

Economic feasibility of HSR construction

In world practice, the issue of economic feasibility of HSR construction is also quite «acute». However, according to the data of the International Union of Railways, provided there is a sufficient redistribution of passenger traffic from alternative transport categories (aviation and cars, buses), the benefits from HSR construction are sufficient for implementation of such infrastructure projects (Table 6).

It should be noted that construction and maintenance of HSR require significant investments. However, implementation of such an infrastructure project presupposes both direct economic effects (an increase in passenger traffic due to a reduction in passenger travel time) and indirect effects:

- Increased safety level.
- Increased level of highly qualified personnel and, accordingly, the growth of highly productive jobs (increasing the level of productivity).

Table 5

Data on HSR passenger turnover (bln passenger/km) (based on [6]) as of 02.02.2021

Country	2010	2015	2017	2019
PRC (China State Railway Group Company)	46,3	386,3	577,6	774,7
Chinese Taipei (Taiwan High Speed Rail Corp.)	7,5	9,7	11,1	12,0
Japan (JR Group)	77,4	97,4	101,4	99,3
Republic of Korea (Korail)	11	15,1	14,9	16,0
France (SNCF Mobilit)	51,9	50,0	58,3	60
Germany (DB AG)	23,9	25,3	28,5	33,2
Spain (Renfe Operadora)	11,7	14,1	15,5	16,1
Italy (Trenitalia)	8,0	9,7	9,8	NA
Italy (NTV)	–	3,9	5,3	NA
Other companies	7,3	631,5	846,9	1029,4

Table 6

Costs and benefits in HSR construction (based on [1])

Stage	Costs	Benefits
Before construction	• Design studies. • Administrative procedures. • Acquisition of land. • *Construction of stations.* • *Construction of infrastructure.* • Testing and certification. • Environmental protection. • *CO_2 emissions from industrial plants.* • Purchase of rolling stock. • Construction of maintenance facilities. • CO_2 emissions from train and infrastructure construction. • Staff training.	• Increased employment (jobs created for infrastructure construction). • Increased employment (jobs created for train production). • Increased employment (jobs created for operating activities).
After construction	• Marketing and distribution of tickets. • Generation / purchase of energy. • Organization of transportation (including wages). • Provision of services to passengers. • Maintenance of infrastructure. • Maintenance of trains. • CO_2 emissions during line operation.	• Increasing the level of transport safety (reducing the volume of compensation payments). • *Reduction of costs for other categories of transport as a result of re-routing of the main traffic.* • *Reduction of CO_2 emissions from other transport categories as a result of re-routing of the main traffic.* • Time saved by passengers. • Increase in passenger traffic.

Positions with significant impact are italicized.

• Reduction of operative costs of related industries.

• Improvement of environmental situation due to reduction of CO_2 emissions.

HSR and the promising technology

The process of HSR construction, which is one of the links in the system of priorities for scientific and technological development of leading railway companies, very strongly correlates with development of new promising technologies and solutions, both in the field of transportation, and maintenance and repair. The most promising technologies and solutions that have a significant impact on HSR development are listed below:

• Intelligent systems for information and control support for autonomous train control and remote dispatch control systems.

• Digital simulation and construction of digital models of infrastructure facilities and rolling stock using satellite technologies and high-precision coordinate systems [8].



Table 7

Scale for assessing the level of readiness of technologies

TRL	Description of TRL
TRL1	Basic principles of technology studied and published
TRL2	Concept of technology and/or its application formulated
TRL3	Critical functions and/or characteristics are confirmed analytically and experimentally
TRL4	Component and/or prototype tested in a laboratory environment
TRL 5	Component and/or prototype tested in close to real environment
TRL6	System/subsystem model or prototype demonstrated in a close-to-real environment
TRL 7	The prototype of the system has been demonstrated under operating conditions
TRL8	Real system completed and qualified during testing and demonstration
TRL9	Real system confirmed by successful operation (goal achievement)

Source: National Standard of the Russian Federation: Technology Transfer. Methodological guidelines for assessing the level of maturity of technologies. GOST R 58048-2017 (came into force on 01.06.2018).

Table 8

The technology readiness level regarding tecnologies and solutions in the field of HSR in leading foreign railway companies

Technology/ solution in the field of HSR	TRL		
	Company	2017	2025 (forecast)
Intelligent systems for information and control support for autonomous train control and remote dispatch control systems	DB (Germany)	TRL9	TRL9
	FS Italiane (Italy)	TRL9	TRL9
	JR Group (Japan)	TRL9	TRL9
	SBB-CFF-FFS (Switzerland)	TRL9	TRL9
Digital modelling and construction of digital models of infrastructure and rolling stock using satellite technologies and high-precision coordinate systems	Network Rail (England)	TRL9	TRL9
	DB (Germany)	TRL9	TRL9
Simulation of interaction of rolling stock and high-speed traffic infrastructure to ensure energy efficiency and safety using «Big Data» processing algorithms	Deutsche Bahn	TRL9	TRL9
	FS Italiane (Italy)	TRL3	TRL5
	Network Rail (England)	TRL5	TRL7
	SBB-CFF-FFS (Switzerland)	TRL9	TRL9
	SNCF (France)	TRL9	TRL9
Automated systems to support management decisions and planning the technical maintenance of infrastructure and rolling stock	Deutsche Bahn	TRL9	TRL9
	NSB (Norway)	TRL8	TRL9
	BB (Austria)	TRL9	TRL9
Aerospace monitoring of infrastructure facilities of railway transport and adjacent territories (including for prevention of emergencies and using unmanned aerial vehicles (drones)	DB (Germany)	TRL9	TRL9
	Network Rail (England)	TRL9	TRL9
	SNCF (France)	TRL9	TRL9
Technologies for integrated operational monitoring of the condition of rolling stock and infrastructure in real time	DB (Germany)	TRL9	TRL9
	CR (China)	TRL9	TRL9
	JR Group (Japan)	TRL9	TRL9
	SBB-CFF-FFS (Switzerland)	TRL8	TRL9

Source: Based on official websites, press releases and annual reports of leading foreign railway companies.

Table 9

Types of high-speed trains operated and planned for operation by leading foreign railway companies (based on [5])

Company	No. of train series	Number of trains	Planned number of additional trains	Max. design speed, km/h	Max. oper. speed, km/h	Manufacturer
China Railway (CR) (PRC)	27	2471	167	400	350	CSR-Bombardier, Kawasaki Heavy Industries, CSR-Sifang, Siemens, CNR-Tanshang, CNR-Changchun, Alstom, CSR-Puzhen Rolling Stock Co. Ltd., CRRC Tangshan, CRRC, CRRC–Changchun
Renfe Operadora (Spain)	15*	229	60	350	300	Alstom, Talgo-Bombardier, Siemens, CAF Alstom
JR Group: JWR, JRC, JRE, JRK, JRH (Japan)	27**	408***	59	320	320	Hitachi, Kawasaki Heavy Industries, Kinki Sharyo, Nippon Sharyo, Tokyu Car Corporation (J-TREC)
SNCF (France)	15	414****	–	320	320	Alstom
DB AG (Germany)	12	240*****	137	330	320	Siemens-Bombardier, Alstom
Trenitalia, NTV (Italy)	14	190******	103	400	300	Bombardier, Alstom, Alstom-Hitachi Rail Italy-Bombardier, Ansaldobreda, Ansaldobreda-Alstom-Bombardier, Siemens-Bombardier-Alstom, Siemens-Bombardier
Korail, SR (Republic of Korea)	4	97	–	330	300	Alstom, Hyundai Rotem

* Including 1 rolling stock series with expiring operation and 2 series to be operated very soon.

** Including series which are no more operated.

*** Some difference is possible due to original data format.

**** Without 66 trains jointly operated with SBB (Switzerland), Eurostar, Thalys.

***** Without 46 trains jointly operated with NS (the Netherlands), OBB (Austria), DSB (Denmark).

****** Without 31 trains jointly operated with SBB (Switzerland).

• Simulation modelling of interaction between rolling stock and high-speed traffic infrastructure to ensure energy efficiency and safety using algorithms for processing «Big Data» [9].

• Automated systems to support management decisions and planning of the technical maintenance of infrastructure and rolling stock [10].

• Geospatial monitoring of infrastructure facilities of railway transport and adjacent territories (including for prevention of emergencies and using unmanned aerial vehicles (drones) [11].

• Technologies for complex operational monitoring of the state of rolling stock and infrastructure in real time [8].

Most of the presented technologies and solutions are at the higher level of technology readiness (hereinafter – TRL) (Table 7) for most of the leading foreign railway companies (Table 8).

HSR rolling stock

Besides priority HSR-related technologies and solutions highlighted above, a fundamental element of organisation of high-speed passenger transportation is

specialised rolling stock. The world leaders in terms of the number of types of high-speed trains operated are CR (China) and JR Group (Japan) (Table 9).

In the context of the maximum design and maximum operation speeds of trains in operation the absolute leadership belongs to China Railways (hereinafter – CR), significantly ahead of its closest competitors in all respects. The operated fleet of CR high-speed trains exceeds its closest competitor, JR Group, by 5 times.

CONCLUSIONS

Global plans regarding HSR construction around the world define this activity as one of the priorities. TRLs of most technologies and solutions required for high-quality and efficient provision of services for high-speed passenger railway transportation in the world are higher levels, which predetermines a high probability of further corporate development in this field.

Since number of companies operate rolling stock with maximum design speed of 400 km/h, we can draw a conclusion about the priority vector of scientific and technological development which is increasing train speed. Railways are active in research and development to further improve efficiency and speed, with Chinese and Japanese national railway companies leading the way in maglev and vacuum rolling stock technology.

The Russian Federation, within the framework of implementing its own HSR development policy, should rely on the best world practices and, using the accumulated significant scientific and technological capacity, and join the countries with the most developed high-speed rail passenger transportation.

REFERENCES

1. High Speed Rail. Fast Track to Sustainable Mobility (UIC report). [Electronic resource]: https://uic.org/IMG/pdf/uic_high_speed_2018_ph08_web.pdf. Last accessed 09.07.2020.

2. UIC High-Speed Databases [Electronic resource]: https://uic.org/high-speed-database-maps. Last accessed 09.07.2019.

3. UIC High Speed Databases [Electronic resource]: https://uic.org/IMG/pdf/20190319_high_speed_lines_in_the_world.pdf. Last accessed 09.07.2019.

4. Guigon, M. The perpetual growth of high-speed rail development. *Global Railway Review*, 2020, Iss. 4, article published 03.11.2020. [Electronic resource]: https://www.globalrailwayreview.com/article/112553/perpetual-growth-high-speed-rail/. Last accessed 04.12.2020.

5. Atlas High-Speed Rail 2021 [Electronic resource]: https://uic.org/IMG/pdf/uic-atlas-high-speed-2021.pdf. Last accessed 10.03.2021.

6. High Speed Traffic in The World (UIC) [Electronic resource]: https://uic.org/IMG/pdf/20210201_high_speed_passenger_km.pdf. Last accessed 10.03.2021.

7. Kosoy, V. V. Russia needs high-speed rail [*Rossii nuzhny vysokoskorostnie magistrali*]. Transport of the Russian Federation. *Journal of Science, Practice, Economics*, 2016, Iss. 5 (66), pp. 16–20. [Electronic resource]: https://cyberleninka.ru/article/n/rossii-nuzhny-vysokoskorostnye-magistrali/pdf. Last accessed 08.07.2020.

8. Zheleznov, M. M. The main directions of research in the field of monitoring and maintenance of the railway track based on satellite technologies [*Osnovnie napravleniya issledovanii v oblasti monitoringa i tekhnicheskogo obsluzhivaniya zheleznodorozhnogo puti na osnove sputnikovykh tekhnologii*]. *Bulletin of Transport of Volga region*, 2011, Iss. 6, pp. 59–64. [Electronic resource]: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17781639. Last accessed 08.07.2020.

9. Pevzner, V. O., Solovyov, V. P., Zheleznov, M. M., Nadezhin, S. S. Scientific foundations of modeling the interaction of track and rolling stock in modern operating conditions [*Nauchnie osnovy modelirovaniya vzaimodeistviya puti i podvizhnogo sostava v sovremennykh usloviyakh ekspluatatsii*]. *Bulletin of the Joint Scientific Council of JSC Russian Railways*, 2014, Iss. 4, pp. 8–14.

10. Zheleznov, M. M. Development and implementation of innovative technologies in the information-technological system of maintenance of railway track [*Razvitie i vnedrenie innovatsionnykh tekhnologii v informatsionno-tekhnologicheskuyu sistemu tekhnicheskogo obsluzhivaniya zheleznodorozhnogo puti*]. *Bulletin of the Scientific Research Institute of Railway Transport*, 2012, Iss. 6, pp. 1–5. [Electronic resource]: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18261667. Last accessed 08.07.2020.

11. Zheleznov, M. M., Ponomarev, V. M. Aerospace emergency monitoring methods. *World of Transport and Transportation*, 2017, Vol. 15, Iss. 4, pp. 214–227. [Electronic resource]: https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1263/1539. Last accessed 08.07.2020.

12. Zheleznov, M. M., Zavyalov, S. Yu. Operational monitoring of potentially dangerous interaction of the railway with the environment [*Operativniy monitoring potentsialno opasnogo vzaimodeistviya zheleznoi dorogi s okruzhayshchei sredoi*]. Railway transport at the present stage of development: Collection of works of young scientists of JSC VNIIZhT. Ed. by M. M. Zheleznov, G. V. Gogrichiani. Moscow, Intekst publ., 2013, pp. 214–218.

Acknowledgments. Specialist of Centre for Storage and Analysis of Big Data of Lomonosov Moscow State University; Shitov Egor, Leading Specialist of Centre for Storage and Analysis of Big Data of Lomonosov Moscow State University; Beloshitsky Aleksey, Deputy Director of Centre for Storage and Analysis of Big Data of Lomonosov Moscow State University; Smirnova Tatyana, Ph.D. student of the Department of Statistics, leading economist of the Faculty of Economics of Lomonosov Moscow State University; Tereshchenko Igor, Leading Specialist of Centre for Storage and Analysis of Big Data of Lomonosov Moscow State University; Shitova Yulia, Leading Specialist of Centre for Storage and Analysis of Big Data of Lomonosov Moscow State University.

УДК 656.13:338.47
DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-1-210-228

Подходы к определению уровня дублирования маршрутов регулярных перевозок



Енин Дмитрий Владимирович *– Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Институт прикладных транспортных исследований, Москва, Россия*.*

Дмитрий ЕНИН

В сфере транспортного обслуживания населения и организации перевозок пассажиров вопросы дублирования маршрутов регулярных перевозок важны с точки зрения обеспечения их соответствия потребностям пассажиров в перевозках, а также их влияния на технико-эксплуатационные и экономические показатели работы этих маршрутов и маршрутной сети в целом.

В России дублирование маршрутов регулярных перевозок получило интенсивное развитие в составе маршрутных сетей в конце 1990-х – начале 2000-х годов как в городском сообщении, так и в других видах сообщения и между ними. В последнее десятилетие эти маршруты всё чаще подвергаются ревизии со стороны органов местного самоуправления и субъектов Российской Федерации при решении задач транспортного планирования и повышения качества транспортного обслуживания населения.

Оценка дублирования маршрутов, как правило, осуществляется на основе маршрутного коэффициента и показателя дублирования маршрутов, позволяющего попарно оценивать маршруты по длине их совпадающих участков.

Цель настоящей статьи заключается в том, чтобы показать некорректность распространённой методики и представить другой подход, обеспечивающий, на взгляд автора, правильную интерпретацию способа определения показателя «дублирование маршрутов». Достижение поставленной цели основывается на методах теоретических исследований в области организации перевозок пассажиров.

Предложен новый метод определения показателя дублирования маршрутов с использованием показателя смежности маршрутов, учитывающего направления и объёмы корреспонденций пассажиров. На простых примерах приведено сопоставление существующего и предлагаемого подходов. Результаты расчётов подтвердили разную природу методических подходов к формированию показателей и отсутствие прямой связи между потребностями пассажиров в перевозках на транспорте общего пользования и протяжённостью смежных участков маршрутов. Сделан вывод о целесообразности использования второго (авторского) подхода на основе показателя смежности маршрутов, который обеспечивает корректное решение искомой задачи транспортного планирования. Показана возможность применения нового подхода при выполнении диагностики или проектировании маршрутных сетей в различных видах сообщения как в отношении паросочетаний маршрутов, так и в отношении их «кустов» и всей маршрутной сети.

Ключевые слова: транспорт, дублирование, корреспонденции, маршрут, маршрутная сеть, пассажир, пассажирский транспорт общего пользования.

---

*Информация об авторе:
Енин Дмитрий Владимирович – кандидат технических наук, доцент Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), директор ООО «Институт прикладных транспортных исследований», Москва, Россия, ✉ info@iptis.ru.

Статья поступила в редакцию 03.12.2020, принята в публикации 26.02.2021.

For the English text of the article please see p. 220.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема дублирования маршрутов регулярных перевозок (далее – маршруты) возникала ранее или имеется сейчас во многих городах и регионах мира. Причины её возникновения и степень влияния на качество транспортного обслуживания населения в значительной мере отличались в силу исторических особенностей развития транспортных систем. В качестве частного примера можно привести рассмотрение ситуации в свете либерализации автобусных маршрутов в городском сообщении в Великобритании, одним из последствий которой стало увеличение дублирования наиболее коммерчески прибыльных маршрутов [1]. Проблема ставится и в рамках общих подходов к совершенствованию маршрутных сетей при организации транспортного обслуживания населения, при разработке стратегий развития пассажирского транспорта общего пользования в городском, пригородном и междугородном сообщениях (например, в виде принципа наименьшего дублирования маршрутов [2]), при принятии решений о введении ограничений на дублирование существующих маршрутов, особенно маршрутов различных видов сообщения, в целях обеспечения справедливой конкуренции [3], устранения существенной плотности наложения (дублирования по длине) маршрутов при планировании [4], использования показателя плотности наложения маршрутов в качестве одного из пяти ведущих принципов оценки качества маршрутной сети [5].

В России проблема дублирования маршрутов особенно отчётливо проявилась в конце XX–начале XXI века из-за разукрупнения транспортных предприятий и интенсивного, почти стихийного, развития коммерческих перевозок пассажиров. Выигрышным в социальном и экономическом плане стало развитие беспересадочных схем перевозок пассажиров. С одной стороны, такой вектор развития предоставил населению лучшие условия территориальной доступности пассажирского транспорта общего пользования, снижение уровня пересадочности и финансовых затрат пассажиров на поездки. С другой стороны, он привёл к повышению загрузки улично-дорожной сети (далее – УДС) городов маршрутными транспортными средствами, повышению расходов перевозчиков на оплату труда водителям и эксплуатацию транспорта, ограничил возможности использования на маршрутах транспортных средств большой и особо большой вместимости. Такая ситуация в начале двухтысячных годов на официальном уровне почти не рассматривалась как проблема по ряду политических, финансовых, правовых и иных причин. В последнее десятилетие органы исполнительной власти стали проявлять всё больший интерес к вопросу снижения дублирования маршрутов, указывая на необходимость выполнения соответствующих работ, преимущественно в рамках муниципальных контрактов [6–10 и др.]. Но двойственная природа рассматриваемого явления до сих пор остаётся нераскрытой.

ЦЕЛЬ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является необходимость показать некорректность распространённого подхода к определению показателя «дублирование маршрутов» и представить другой его вариант, обеспечивающий корректную интерпретацию способа определения этого показателя.

Достижение поставленной цели основывается на *методах* теоретических исследований в области организации перевозок пассажиров.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Показатели оценки дублирования маршрутов

Решение задачи снижения дублирования маршрутов в работах по транспортному планированию, как правило, основано на использовании маршрутного коэффициента или показателя дублирования маршрутов.

Маршрутный коэффициент представляет собой одну из основных характеристик маршрутных сетей городов, которая отражает средневзвешенное количество маршрутов, приходящееся на один условный участок УДС, обслуживаемый пассажирским транспортом общего пользования [11; 12 и др.]:

$$K_м = \frac{\sum L_m}{L_{МС}}, \quad (1)$$

где $\sum L_m$ – сумма длин маршрутов, км;

$L_{МС}$ – длина маршрутной сети (длина УДС, обслуживаемой маршрутами пассажирского транспорта общего пользования), км.

Маршрутный коэффициент пригоден для усреднённой оценки состояния маршрутной сети по признаку дублирования (плотности) участков маршрутов, является обобщённым и не позволяет сопоставлять характеристики маршрутов между собой. Встречается также несколько иная интерпретация этого показателя, когда в знаменателе указывают длину всей УДС [13].

Попарно оценивать маршруты между собой по длине их совпадающих участков позволяет показатель дублирования маршрутов. Наиболее распространённым является следующее его представление [14]:

$$K_Д = \frac{L_{дм}}{L_М} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где $L_{дм}$ – длина всех дублируемых участков одного маршрута, выбранного в качестве базового относительно другого (например, проектируемого маршрута относительно существующего), км;

$L_М$ – длина маршрута, выбранного из двух рассматриваемых маршрутов в качестве базового, км.

Маршруты с уровнем дублирования более 60–95 % (разные авторы по-разному определяют эту границу) [14–16 и др.] признают полностью дублирующими, на основании чего один или несколько из них предлагаются к отмене. Для существующих маршрутов предусматривают перераспределение высвобождаемого пассажиропотока на оставшиеся маршруты.

В развитие показателя (2) могут использоваться и другие показатели, уточняющие характеристики дублирования маршрутов, например:

а) сетевой коэффициент дублирования маршрутов, позволяющий определить долю дублируемых участков маршрутной сети:

$$K_{СД} = \frac{\sum L_{дс}}{L_{МС}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где $\sum L_{дс}$ – общая длина дублируемых участков маршрутной сети, км;

$L_{МС}$ – длина маршрутной сети, км;

б) средневзвешенная доля дублирования в длине маршрутов:

$$\Delta_Д = \frac{\sum L_{дм}}{\sum L_М} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где $\sum L_{дм}$ – сумма длин дублируемых участков каждого маршрута, км;

$\sum L_М$ – сумма длин маршрутов, км.

Особенностью представленных показателей является то, что оценка дублирования производится топологически: по длине участков маршрутов. Они позволяют определить степень обеспеченности УДС маршрутами, в некоторой степени связаны с загрузкой УДС транспортом общего пользования (через параметры маршрутов), однако не отражают влияние дублирования на потребности пассажиров в перевозках. Эта особенность подчёркивает их вторичность, поскольку они не столько определяют, сколько зависят от наличия маршрутов, формируемых на основе транспортного спроса. И они более близки к вопросам организации дорожного движения, чем к вопросам перевозки пассажиров. Любопытно, но такой подход получил распространение также и за рубежом [17–19 и др.][1].

В сфере транспортного обслуживания населения и организации перевозок пассажиров проблема дублирования маршрутов заключается в другом:

- в необходимости обеспечения приемлемого уровня загрузки транспортными средствами общего пользования остановочных пунктов, оказывающих немалое влияние на провозную способность маршрутов;
- в поиске возможностей для применения на маршрутах транспортных средств более высокого класса по отношению к эксплуатируемому подвижному составу, при обеспечении эффективности их использования (степени загрузки);
- в изменении уровня конкуренции между отдельными маршрутами или перевозчиками.

Решение перечисленных вопросов следует рассматривать не на основе сопоставления длин участков маршрутов, а на основе сопоставления направлений и объё-

[1] SEPTA. Southeastern Pennsylvania Transportation Authority. Frequently asked questions. [Электронный ресурс]: https://www.septa.org/service/bus/network/faq.html. Доступ 29.11.2020.

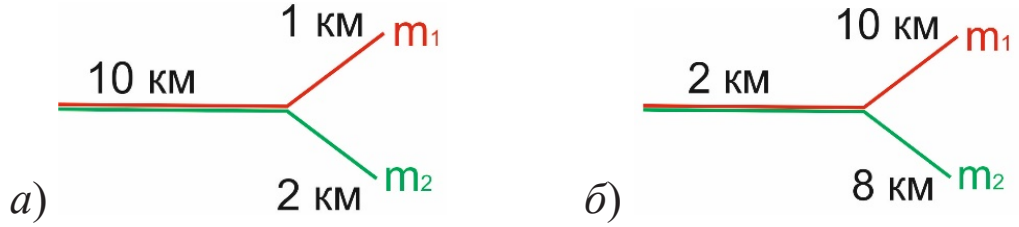


Рис. 1. Варианты схем элементарной маршрутной сети (составлено автором).

мов корреспонденций пассажиров между парами остановочных пунктов, поскольку структура и характеристики транспортного обслуживания населения преимущественно определяются характером потребностей людей в передвижениях. Соответственно, в задаче оценки дублирования маршрутов основное внимание нужно уделять не звеньям маршрутной сети (перегонам), а её узлам – остановочным пунктам.

Анализ литературных источников показал, что близок к этому подходу оказался А. С. Кажаев в своей диссертационной работе [20], однако автору не удалось раскрыть суть вопроса, и он ограничился применением коэффициента совмещения остановочных пунктов. В других работах приводится корректное описание проблемы, правильное направление мысли в отношении значимости корреспонденций пассажиров между остановочными пунктами, но до методики определения дублирования маршрутов дело не доходит. В числе отечественных источников можно отметить методические рекомендации Минтранса России по разработке Документа планирования регулярных перевозок [21]; из зарубежных источников – например, рекомендации для города Эдмонтона [22].

Для удобства описания и наглядности различий между двумя подходами – на основании длины маршрутов (первый подход) и корреспонденций пассажиров (второй подход) – заменим далее понятие «дублирование маршрутов» на «смежность маршрутов».

Определение «смежности маршрутов» при втором подходе осуществляется следующим образом.

Пусть из всей совокупности маршрутов M имеются несколько $M_m \in M$, у которых совпадает хотя бы один участок, соединяющий два или более общих для них остановочных пунктов $O_m \in O$ (где O – множество остановочных пунктов).

Все остановочные пункты O по своему функциональному назначению подразделяются на остановочные пункты отправления $I \in O$ и остановочные пункты прибытия $J \in O$ пассажиров. Каждая пара остановочных пунктов I и J характеризуется определённым объёмом корреспонденций пассажиров:

$$Q(i,j) \mid i \in I, j \in J,$$

где i, j – номера остановочных пунктов, соответственно, отправления и прибытия пассажиров.

Обозначим через $Q_S(i,j) \subset Q(i,j)$ количество смежных корреспонденций пассажиров, которые могут быть реализованы при поездке на любом из рассматриваемых маршрутов M_m между парой остановочных пунктов i и j. Количество корреспонденций пассажиров, которые возможно реализовать только на конкретных маршрутах из числа рассматриваемых M_m между парой остановочных пунктов i и j, обозначим как $Q_M(i,j) \subset Q(i,j)$. Тогда коэффициент смежности для двух или нескольких (k) маршрутов M_m будет иметь вид:

$$K_{см} = \frac{\sum_{m=1}^{k} Q_S(i,j)}{\sum_{m=1}^{k} \left(Q_S(i,j) + Q_M(i,j)\right)} \cdot 100\% . \qquad (5)$$

Примеры

Пример 1

Для наглядности различий между подходами (существующим первым и предлагаемым вторым) к оценке дублирования (смежности) маршрутов рассмотрим игровую модель выбора из двух вариантов маршрутных сетей, характеризуемых противоположными предельными состояниями, наилучшего варианта при каждом подходе.

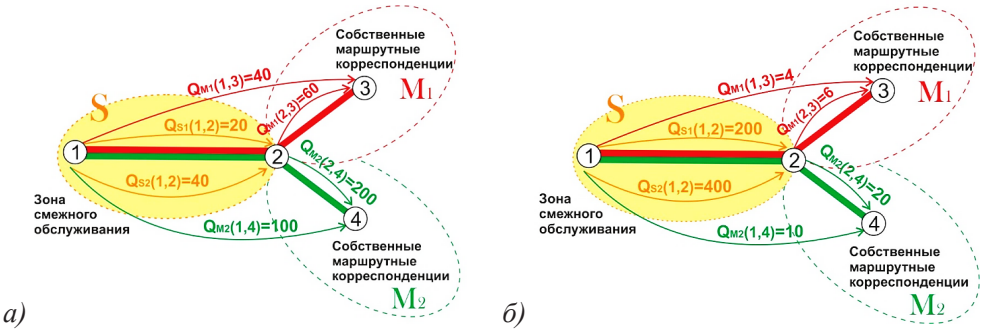


Рис. 2. Варианты схем элементарной маршрутной сети (составлено автором).

1. Определение дублирования маршрутов по длине их участков.

Рассмотрим две элементарные маршрутные сети *а* и *б*, состоящие из двух простых маршрутов. Одна сеть (*а*) имеет протяжённый участок дублирования, а другая (*б*) – короткий. Характеристики маршрутов m_1 и m_2 приведены на рис. 1. Высоким уровнем дублирования маршрутов считается значение коэффициента дублирования более 80 %.

Требуется:

• рассчитать значения: маршрутного коэффициента; показателя дублирования маршрутов для m_1 и m_2; сетевого коэффициента дублирования маршрутов; средневзвешенную долю дублирования в длине маршрутов;

• определить наличие маршрутов с высоким уровнем дублирования и необходимость отмены одного из них.

Определим значения показателей для маршрутной сети *а*:

1) маршрутный коэффициент определяется по формуле (1):

$$K_{м} = \frac{L_{m1} + L_{m2}}{L_{МС}} = \frac{11+12}{10+2+1} = 1,77;$$

2) показатель дублирования маршрутов определяется по формуле (2) для случаев, когда в качестве базового маршрута принимается маршрут m_1 или m_2:

$$K_{Дm_1} = \frac{L_{дм}}{L_{m1}} \cdot 100\% = \frac{10}{11} \cdot 100\% \approx 92\ \%,$$

$$K_{Дm_2} = \frac{L_{дм}}{L_{m2}} \cdot 100\% = \frac{10}{12} \cdot 100\% \approx 83\ \%;$$

3) сетевой коэффициент дублирования маршрутов определяется по формуле (3):

$$K_{СД} = \frac{\sum L_{дс}}{L_{МС}} \cdot 100\% = \frac{10}{10+1+2} \cdot 100\% \approx 77\ \%;$$

4) средневзвешенная доля дублирования в длине маршрутов определяется по формуле (4):

$$\Delta_{Д} = \frac{L_{дm_1} + L_{дm_2}}{L_{m_1} + L_{m_2}} \cdot 100\% = \frac{10+10}{11+12} \cdot 100\% \approx 87\ \%.$$

Аналогично вычисляются значения для маршрутной сети *б*:

1) маршрутный коэффициент:

$$K_{м} = \frac{L_{m1} + L_{m2}}{L_{МС}} = \frac{12+10}{2+10+8} = 1,1;$$

2) показатель дублирования маршрутов:

$$K_{Дm_1} = \frac{L_{дм}}{L_{m1}} \cdot 100\% = \frac{2}{12} \cdot 100\% \approx 17\ \%,$$

$$K_{Дm_2} = \frac{L_{дм}}{L_{m2}} \cdot 100\% = \frac{2}{10} \cdot 100\% = 20\ \%;$$

3) сетевой коэффициент дублирования маршрутов:

$$K_{СД} = \frac{\sum L_{дс}}{L_{МС}} \cdot 100\% = \frac{2}{2+10+8} \cdot 100\% = 10\ \%;$$

4) средневзвешенная доля дублирования в длине маршрутов:

$$\Delta_{Д} = \frac{L_{дm_1} + L_{дm_2}}{L_{m_1} + L_{m_2}} \cdot 100\% = \frac{2+2}{12+10} \cdot 100\% \approx 18\ \%.$$

Краткий анализ результатов расчётов по первому подходу

Сравнение значений маршрутного коэффициента для двух маршрутных сетей показывает более высокий уровень дублирования на маршрутной сети *а*, т. к. $K_{Ма} > K_{Мб}$ (1,77 > 1,1). Но этот результат не имеет достаточной обоснованности для выводов об отмене маршрутов: понятно, что при варианте *а* дублирование выше, но непонятно, нужно ли и что именно нужно менять? По этой причине рассматриваемый показатель нецелесообразно использовать для решения подобных задач, он приемлем только для сетевых задач более высокого уровня. Из

дальнейшего рассмотрения в настоящем примере он исключается.

Из сравнения значений по оставшимся показателям следует, что маршрутная сеть *а* характеризуется высоким уровнем дублирования (между парами маршрутов: 83 и 92 %; на сети 77 %). Поскольку значения для маршрутов превышают 80 %, по условиям задачи требуется отмена одного из них. Претендентом на отмену является маршрут m_1, как имеющий большее значение показателя. На практике приоритеты выбора могут быть другими: сохранение маршрута с лучшими технико-эксплуатационными характеристиками, более надёжным перевозчиком, наибольшим пассажиропотоком и т.д.

Маршрутная сеть *б* имеет значения показателей многократно ниже 80 %, поэтому её маршруты рассмотрению не подлежат.

2. Определение смежности маршрутов на основе объёмов корреспонденций пассажиров.

В качестве исходных данных выступают те же варианты элементарных маршрутных сетей (*а* и *б*), представленные на рис. 1, но дополненные значениями объёмов корреспонденций пассажиров в соответствии с рис. 2. Протяжённость участков маршрутов в этом случае не рассматривается.

Требуется вычислить значения коэффициента смежности маршрутов для каждого варианта.

Решение

1) коэффициент смежности маршрутов для варианта а будет равен (для удобства записи заменим часть круглых скобок на квадратные):

$$K_{см}^{а} = \frac{Q_{S1}(1,2)+Q_{S2}(1,2)}{\left[Q_{S1}(1,2)+Q_{S2}(1,2)\right]+} \cdot 100\% = \\ +\left[\left(Q_{M1}(1,3)+Q_{M1}(2,3)\right)+\right. \\ \left.+\left(Q_{M2}(1,4)+Q_{M2}(2,4)\right)\right] \\ = \frac{20+40}{\left[20+40\right]+\left[\left(40+60\right)+\left(100+200\right)\right]} \cdot 100\% = \\ = \frac{60}{460} \cdot 100\% \approx 13\ \%;$$

2) коэффициент смежности маршрутов для варианта *б* составит:

$$K_{см}^{б} = \frac{200+400}{\left[200+400\right]+\left[\left(4+6\right)+\left(10+20\right)\right]} \cdot 100\% = \\ = \frac{600}{640} \cdot 100\% \approx 94\ \%.$$

Краткий анализ результатов расчётов по второму подходу

Маршрутная сеть *а* характеризуется низким уровнем востребованности пассажирами смежных узлов маршрутов (13 %) и нецелесообразна для рассмотрения, поскольку не отвечает поставленному условию: 13 % << 80 %. Напротив, маршрутная сеть *б* характеризуется высокой востребованностью пассажирами смежных узлов маршрутов и показывает высокий уровень смежности маршрутов (94 %), в связи с чем возможна отмена маршрута m_1, характеризуемого меньшим объёмом пассажиров (не исключается возможность введения отдельных рейсов на оставшемся маршруте в направлении 2–3).

Сравнение двух подходов на основе полученных результатов

Сравнение значений коэффициентов дублирования и смежности маршрутов по длине и по объёмам корреспонденций пассажиров показало противоположные результаты для маршрутных сетей *а* и *б*. При первом подходе высокий уровень дублирования маршрутов наблюдается в маршрутной сети *а*, а при втором подходе – в маршрутной сети *б*.

Полученные результаты подтверждают разную природу показателей и отсутствие прямой связи между потребностями пассажиров в перевозках на транспорте общего пользования и протяжённостью смежных участков маршрутов. Соответственно, оценка смежности маршрутов по формулам (1–4) не позволяет правильно определить уровень дублирования маршрутов в сфере транспортного обслуживания населения и принять правильное решение по изменению маршрутной сети на их основе. Вопросы организации дорожного движения и частоты движения транспорта оставим за рамками настоящей статьи.

Коэффициент смежности маршрутов, напротив, позволил по формуле (5) получить искомый корректный уровень смежности маршрутов, оказавшийся характерным только для маршрутной сети *б*, и установить подлежащий отмене маршрут. Однако следует осторожно подходить к принятию окончательного решения. Несмотря на логичность и наблюдаемую весомость полученного значения, оно

Таблица 1

Среднесуточное распределение корреспонденций пассажиров (составлено автором)

№№ ОП	Пункты отправления																																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Σ	
Пункты назначения 1		55	54	52	51	49	48	45	44	42	41	39	38													350					**908**
2	55		69	67	65	63	62	58	56	55	53	50	49													460					**1107**
3	54	69		86	83	81	78	74	72	70	68	64	62													580					**1318**
4	52	67	86		140	136	66	124	120	116	57	53	52	68	64	57	55	53								490					**1651**
5	51	65	83	140		164	80	150	146	142	69	65	63	78	78	69	67	65								590					**1826**
6	49	63	81	136	164		251	182	176	172	225	212	76	88	245	83	211	78				146				720			123	116	**3104**
7	48	62	78	66	80	96		87	84	82	158	75	73		87				77	79	84	84	79	77	75	1380					**2581**
8	45	58	74	124	150	182	87		258	250	121	114	111	108	129	121	118	114								1050					**2494**
9	44	56	72	120	146	176	84	258		302	147	138	134	123	147	147	143	138								1270					**2689**
10	42	55	70	116	142	172	82	250	302		155	146	142	122	146	155	150	146								1340					**2502**
11	41	53	68	57	69	223	158	121	147	155		274	113		246		154		94	97	103	279	116	113	109	2060	158	149	145	137	**4347**
12	39	50	64	53	65	210	75	114	138	146	279		61		14		18					17				580	17	16	17	16	**756**
13	38	49	62	52	63	76	73	111	134	142	113	61														1000					**1000**
14				68	78	88		108	123	122					250	222	216	210													**898**
15				64	78	94	87	129	147	146	249	15		250		73	228	69	69	71	75	257	75	73	71	670			148	139	**2018**
16				57	69	83		121	147	155				222	73		355	344													**699**
17				55	67	209		118	143	150	158	19		216	172	355		300				60					58	55	64	60	**597**
18				53	65	78		114	138	146				210	69	344	300														
19							77				94				69					69	65	57	54	53	51	480					**829**
20							79				97				71				69		59	52	49	48	46	440					**694**
21							84				103				75				65	59		43	41	39	38	360					**521**
22						153	84				284	18			215		63		57	52	43		78	76	74	700	82	78	71	67	**1226**
23							79				116				75				54	49	41	78		138	134	1260					**1532**
24							77				113				73				53	48	39	76	138		154	1450					**1604**
25							75				109				71				51	46	38	74	134	154		2000					**2000**
26	350	460	580	490	590	720	1380	1050	1270	1340	2060	580	1000		670				480	440	360	700	1260	1450	2000						
27						149					136	15			117		51					73						166	120	113	**399**
28						158					145	15			124		54					78							154	145	**299**
29						121					149	18			95		67					76					205	154		200	**200**
30						114					141	17			89		63					71					194	145	200		
Σ	**908**	**1107**	**1318**	**1651**	**1826**	**3102**	**2581**	**2494**	**2689**	**2502**	**4346**	**758**	**1000**	**898**	**2058**	**699**	**598**		**829**	**694**	**521**	**1226**	**1532**	**1604**	**2000**		**399**	**299**	**200**		**79638**

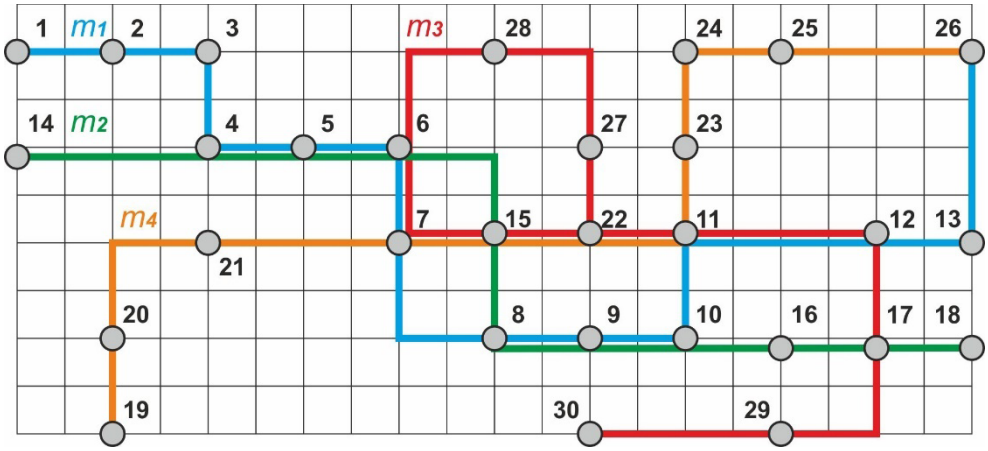


Рис. 3. Схема маршрутной сети (составлено автором).

относится к необходимому, но недостаточному условию для отмены какого-либо из маршрутов. Достаточность может быть обеспечена только на основе полноценного анализа несмежных участков маршрутов, провозной и пропускной способностями смежного участка, социальной значимости рассматриваемых маршрутов и остановочных пунктов на них, имеющихся и планируемых объёмов ресурсного обеспечения на эксплуатацию маршрутов, оценки целесообразности введения подвозящих маршрутов (в примере – между остановочными пунктами 2–3–4) или объединения смежных маршрутов в один с разными режимами работы транспортных средств по длине (основные рейсы между конечными пунктами 1–2, укороченные рейсы между конечными пунктами 1–3 и 1–4), оценки иных ситуаций. В практике автора был случай, когда смежные на 100 % маршруты троллейбуса и автобуса вынужденно были сохранены из-за недостаточной провозной способности троллейбусного маршрута и в целях обеспечения бесперебойного сообщения в случаях отключения электроэнергии. Поэтому только по итогам многоаспектного анализа следует принимать окончательное решение об отмене или сохранении какого-либо из смежных маршрутов. Это условие также делает малозначимой задачу нормирования и установления предельно допустимых значений коэффициента смежности в качестве критерия отмены или сохранения смежных маршрутов, но не исключает её.

Пример 2

Первый пример для наглядности был показан на элементарной маршрутной сети из двух маршрутов. В реальных условиях структура маршрутных сетей более сложная, в связи с чем возникает вопрос о применимости рассматриваемых подходов к оценке смежности бóльшего количества маршрутов, в том числе с разными участками смежности. Необходимо подтвердить применимость показателей на сетевом уровне. Для этого используем несколько более сложную модель, на которой покажем действие формул (1, 3–5). Показатель, определяемый по формуле (2) не относится к сетевым, поэтому не подлежит рассмотрению в настоящем примере.

Дана маршрутная сеть, состоящая из четырёх маршрутов (рис. 3). Маршруты выполнены на регулярной УДС с длиной ребра ячейки 0,25 км и имеют длину: L_{m1} = 8 км, L_{m2} = 6 км, L_{m3} = 6,5 км, L_{m4} = 8 км. Длина маршрутной сети – 23 км. Общее количество остановочных пунктов, действующих в одном или нескольких направлениях, составляет 30 ед. Среднесуточное распределение корреспонденций пассажиров на маршрутной сети представлено в табл. 1.

Вычислим значения показателей по формулам (1, 3–5):

1) маршрутный коэффициент:

$$K_{м} = \frac{L_{m1} + L_{m2} + L_{m3} + L_{m4}}{L_{MC}} = \frac{8+6+6,5+8}{23} = 1,24,$$

т.е. усреднённо на каждый четвёртый участок маршрутной сети приходится два

маршрута, на остальные три участка – по одному маршруту;

2) сетевой коэффициент дублирования маршрутов:

$$K_{СД} = \frac{\sum L_{дс}}{L_{МС}} \cdot 100\% = \frac{5}{23} \cdot 100\% \approx 22\ \%;$$

3) средневзвешенная доля дублирования в длине маршрутов:

$$\Delta_{Д} = \frac{L_{дm_1} + L_{дm_2} + L_{дm_3} + L_{дm_4}}{L_{m_1} + L_{m_2} + L_{m_3} + L_{m_4}} \cdot 100\% =$$

$$= \frac{3,5 + 2 + 1,5 + 3}{8 + 6 + 6,5 + 8} \cdot 100\% \approx 35\ \%;$$

4) коэффициент смежности маршрутов составит (значения в числителе и знаменателе предварительно просуммированы на основании таблицы 1):

$$K_{см} = \frac{16621}{16621 + 63017} \cdot 100\% \approx 21\ \%.$$

В приведённом примере значения сетевого коэффициента дублирования маршрутов и коэффициента смежности маршрутов оказались близки. Отметим, что определённая зависимость между ними действительно может существовать в полифункциональных городах, где распределение корреспонденций населения находится в зависимости от расстояния (времени) передвижения людей. Однако такая связь характерна не для всех городов. В меньшей степени она проявляется в городах монофункциональных: промышленных, ресурсодобывающих, промысловых, курортных и др.

Попарное сравнение маршрутов (всего шесть вариантов, расчёт не приводится), показало, что при определении сетевого коэффициента дублирования маршрутов совмещёнными оказались только три пары маршрутов со значениями показателя от 9 до 14 %. При определении коэффициента смежности маршрутов совмещёнными оказались уже пять пар маршрутов, значения показателя для которых составили от 4 до 11,4 %. Таким образом, несмежные по длине и топологии трасс маршруты оказались частично смежными по корреспонденциям пассажиров между остановочными пунктами. При сравнении групп из трёх маршрутов (четыре варианта) значения сетевого коэффициента дублирования маршрутов составили от 7 до 16 %, а коэффициента смежности маршрутов – от 5,5 до 17,5 %.

Как видно, во всех случаях маршруты с высоким уровнем дублирования отсутствуют. Вместе с тем, представленный пример даёт ответ на основной поставленный вопрос: формула (5), наравне с формулами (1, 3, 4) по своему направлению, оказалась применима для диагностики дублирования «кустов» маршрутов и всей маршрутной сети.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Для сферы транспортного обслуживания населения установлена нецелесообразность применения показателей дублирования маршрутов, основанных на сопоставлении длин смежных участков маршрутов, поскольку такие показатели не учитывают потребности пассажиров в поездках, их объёмы и направления, а результаты могут существенно расходиться с логикой вопросов планирования и организации перевозок пассажиров транспортом общего пользования и привести к неверному результату.

2. Оценку дублирования (смежности) маршрутов регулярных перевозок при осуществлении диагностики существующего состояния и планировании развития маршрутных сетей городов целесообразно выполнять на основе предложенного коэффициента смежности маршрутов, учитывающего в своей основе направления и объёмы корреспонденций пассажиров между узлами сети – остановочными пунктами. Показатель применим для сопоставления пар маршрутов, «кустов» маршрутов и маршрутных сетей в целом.

3. При наличии результатов, отражающих высокий уровень смежности маршрутов, окончательное решение о сохранении, изменении или отмене маршрутов следует принимать только после всестороннего анализа других факторов, не ограничиваясь коэффициентом смежности маршрутов.

4. Показано, что использование маршрутного коэффициента для детальной

оценки дублирования маршрутов нецелесообразно вследствие его неинформативности и недостаточности для принятия решений о сохранении или отмене маршрутов. Этот показатель применим только для решения сетевых задач высокого уровня.

ЛИТЕРАТУРА

1. Jeffrey, S. Delivering change – improving urban bus transport. [Электронный ресурс]: https://www.centreforcities.org/reader/improving-urban-bus-services/deregulation-makes-improving-bus-services-harder-for-mayors/. Доступ 24.11.2020.

2. Andreev, K., Terentyev, V. Development of strategies for the development of urban passenger transport in EurAsEC countries. ITESE-2019, E3S Web of Conferences, Vol. 135, 02013 (2019). DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913502013. Доступ 24.11.2020.

3. Yakimov, M., Trofimenko, Yu. Developing an urban public passenger transport route network with account for natural resource limitations. Transportation Research Procedia, 2018, Vol. 36, pp. 801–809. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.078.

4. Petrelli, M. A transit network design model for urban areas. WIT Transactions on the Built Environment, 2004, Vol. 75. DOI: 10.2495/UT040171. Доступ 24.11.2020.

5. Wang, J. J., Po, K. Bus Routing Strategies in A Transit Market: A Case Study of Hong Kong. Journal of Advanced Transportation, 2001, Vol. 35 No. 3, pp. 259–288. DOI: https://doi.org/10.1002/atr.5670350306. Доступ 24.11.2020.

6. Проблемы пассажирских перевозок // Общественная палата Российской Федерации. [Электронный ресурс]: https://www.oprf.ru/ru/about/ interaction/region_chambers/431/2584/newsitem/50418? PHPSESSID=hkjfahnf5ek219mdhhp99k7hk2. Доступ 20.11.2020.

7. Полухин Е. Дождались перемен. Как в Воронеже решается проблема пассажирских перевозок // РИА. Воронеж. [Электронный ресурс]: https://riavrn.ru/news/dozhdalis-peremen-kak-v-voronezhe-reshaetsya-problema-passazhirskikh-perevozok-/. Доступ 20.11.2020.

8. В Орле ожидаются масштабные изменения в маршрутах общественного транспорта // Орел.times. [Электронный ресурс]: https://oreltimes.ru/news/obshhestvo/v-orle-ozhidajutsja-masshtabnye-izmenenija-v-marshrutah-obshhestvennogo-transporta/. Доступ 20.11.2020.

9. Всех под один тариф. В Ярославле частных перевозчиков приравняют к муниципальным // Российская газета. Экономика Центрального округа № 89 (7847). [Электронный ресурс]: https://rg.ru/2019/04/23/reg-cfo/v-iaroslavle-obiavili-o-reforme-gorodskogo-passazhirskogo-transporta.html. Доступ 20.11.2020.

10. Овчарук Н., Николаев С., Белов Е. Куда катится этот город? Как решат проблемы общественного транспорта Уфы // Башинформ.рф. [Электронный ресурс]: https://www.bashinform.ru/longread/transport-v-ufe/. Доступ 20.11.2020.

11. Ефремов И. С., Кобзев В. М., Юдин В. А. Теория городских пассажирских перевозок: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. школа, 1980. – С. 133.

12. Спирин И. В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками: Учебник для студ. учреждений сред. проф. образования. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – С. 163.

13. Грищук Д. В. Оценка эффективности системы автобусного транспорта Казани // Вестник Иркутского государственного технического университета. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2019. – Т. 9. – № 2. – С. 84. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39542651. Доступ 30.11.2020.

14. Постановление администрации города Иркутска от 24.12.2015 г. № 031-06-1231/5 «Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в городе Иркутске» (с изм. и доп. от 25.12.2018 г.) [Электронный ресурс]: http://docs.cntd.ru/document/440526818. Доступ 24.11.2020.

15. Кузькина Н. А., Лаврушина Е. М., Евтикова Е. А. Оценка степени дублирования городского пассажирского транспорта пригородными маршрутами // Материалы VIII Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум». [Электронный ресурс]: http://scienceforum.ru/2016/article/2016020238. Доступ 26.11.2020.

16. Постановление администрации городского округа муниципального образования «город Саянск» от 25.01.2017 г. № 110-37-56-17 «О внесении изменений в постановление администрации городского округа муниципального образования «город Саянск» от 28.12.2015 г. № 110-37-1272-15 «Об утверждении Положения об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом на территории муниципального образования «город Саянск». [Электронный ресурс]: http://www.admsayansk.ru/qa/5310.html. Доступ 30.11.2020.

17. Transit standards and performance measures. Procedures guide. USA: Valley Metro, 2019, p. 11. [Электронный ресурс]: https://www.valleymetro.org/sites/default/files/tspm_procedures_guide_final_10.04.19.pdf. Доступ 28.11.2020.

18. Harrison, K. Measuring Access to Employment to Guide and Evaluate Public Transit Service Planning in New Orleans. University of New Orleans Theses and Dissertations, 2016, 46 p. [Электронный ресурс]: https://scholarworks.uno.edu/td/2256. Доступ 29.11.2020.

19. Best Practices in Transit Service Planning. Final Report. Project No. BD549–38. USA: Prepared by the Center for Urban Transportation Research University of South Florida, 2009, pp. 14–15. [Электронный ресурс]: https://www.nctr.usf.edu/pdf/77720.pdf. Доступ 29.11.2020.

20. Кажаев А. А. Снижение конфликтных ситуаций на остановочных пунктах маршрутных сетей городского пассажирского транспорта / Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22. – М., 2012. – 19 с. [Электронный ресурс]: https://dspace.susu.ru/xmlui/bitstream/handle/0001.74/5911/000486807.pdf?sequence=3&isAllowed=y?sequence=3&isAllowed=y. Доступ 24.11.2020.

21. Методические рекомендации по разработке Документа планирования регулярных перевозок пассажиров и багажа по муниципальным и межмуниципальным маршрутам автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом: утв. заместителем Министра транспорта Российской Федерации А. К. Семёновым от 30.06.2020 г. (ред. от 30 июня 2020 г.). [Электронный ресурс]: http://www.consultant.ru/ document/cons_doc_LAW_352633. Доступ 24.11.2020.

22. Accelerating Transit in the Edmonton Metropolitan Region: Building a Regional Transit Services Commission. ADDENDUM, 2020. [Электронный ресурс]: https://www.fortsask.ca/en/your-city-hall/resources/Documents/News/News-Releases/2020/Accelerating-Transit-in-Edmonton-Metropolitan-Region-Addendum.pdf. Доступ 29.11.2020.

DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-1-210-228

Approaches to Determining the Regular Transit Route Duplication Level



Enin, Dmitry V., *Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Institute of Applied Transport Research, Moscow, Russia*.*

Dmitry V. ENIN

ABSTRACT

Issues of duplication of regular transit routes are of particular importance in the field of transport services provided to population and organisation of passenger transportation from the perspective of ensuring compliance with passengers needs for transportation and of the effects of route duplication on the technical, operational, and economic indicators of performance of these routes and the integral route network.

In Russia duplication of regular routes within route networks emerged in the late 1990s – early 2000s in urban transit, other transit modes, and in interconnected transit. In the last decade, these routes have been increasingly subject to revision by local governments and executive bodies of federal constituent entities of the Russian Federation while solving transport planning problems and improving quality of transport services for the population.

Evaluation of route duplication, as a rule, is carried out based on the route factor and the route duplication factor, the latter allows pairwise assessment of routes by the length of their overlapping segments.

The objective of this article is to show incorrectness of the widespread technique and to present another approach that provides, in the author's opinion, the correct interpretation of the method for determining the route duplication rate. Achieving this objective is based on methods of theoretical research in the field of organising passenger transportation.

In development of this logic, the author proposed a new method for determining the route duplication factor using route adjacency factor, which considers directions and volumes of passenger origin-destination flows. Comparison of existing and proposed approaches is given using simple examples. The results of calculations have confirmed the different nature of factors and the absence of a direct relationship between the needs of passengers for transportation by public transport and the length of adjacent sections of routes. The conclusion is made about probable expediency of using the second (author's) approach based on the route adjacency factor, which provides a correct solution to the stated transport planning problem. Besides, the possibility of using a new approach when performing diagnostics or designing route networks of different transport modes is shown both in relation to route matching and regarding their clusters and the entire route network.

Keywords: transport, duplication, origin-destination flow, route, route network, passenger, public passenger transport.

---

*Information about the author:
Enin, Dmitry V. – Ph.D. (Eng), Associate Professor of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), director of the Institute of Applied Transport Research LLC, Moscow, Russia,
✉ info@iptis.ru.

Article received 03.12.2020, accepted 26.02.2021.

For the original Russian text of the article please see p. 210.

INTRODUCTION

The problem of duplication of regular transportation routes (hereinafter referred to as routes) has earlier emerged or exists now in many world cities and regions. The causes of its emergence and the level of impact on the quality of transport services provided to population were quite different because of the historical features of development of transport systems. A case study of the situation following deregulation of urban bus route services in Great Britain can be mentioned as a particular example resulted in expansion of duplication of most commercially profitable routes [1]. The problem is also regarded within the framework of general approach to improving of route networks while providing transport services to population, working out development strategies for public passenger urban, commuter, intercity transportation (e.g., in the form of the principle of least duplication of routes [2]), making decisions on limiting duplication of existing routes, particularly of different transport modes, to ensure fair competition [3], to avoid considerable density of overlapping (regarding length of duplicated route segments) while planning [4], to use route overlapping level among five core principles of route network quality assessment [5].

In Russia the route duplication problem manifested clearly in the late 20th–early 21st centuries due to downsizing of transport enterprises and intensive, almost spontaneous, development of commercial passenger transportation. Development of direct passenger transportation schemes became socially and economically advantageous. On the one hand, this development vector provided the population with better conditions for territorial accessibility of public passenger transport, a decrease in the level of interchange and of financial costs of passengers for travel. On the other hand, it led to an increase in the load on urban street and road network (hereinafter – SRN) by route vehicles and to a growth in the costs of carriers regarding drivers wages and transport operations, and limited the possibility of using vehicles of large and extra large capacity on routes. This situation at the beginning of the 2000s was hardly considered at the official level as a problem for a number of political, financial, legal and other reasons. In the last decade, the executive authorities have begun to show increasing interest in the issue of reducing duplication of routes, indicating the need to carry out the relevant work within the framework of municipal contracts [6–10, etc.]. But the dual nature of the phenomenon under consideration remains still undisclosed.

Objective and methods of research

The *objective* of the study is to show incorrectness of the widespread approach to determining the route duplication factor and to present another approach that provides a correct interpretation of the method for determining this factor.

Achieving this objective is based on the *methods* of theoretical research in the field of organising passenger transportation.

RESULTS

Route duplication assessment indicators

The solution to the problem of reducing route duplication in works dedicated to transport planning is usually based on the use of a route factor or route duplication factor.

The route factor is one of the main characteristics of the urban route networks, which reflects the weighted average number of routes per one conditional SRN segment, serviced by public passenger transport [11; 12, etc.]:

$$K_r = \frac{\sum L_r}{L_{RN}}, \quad (1)$$

where $\sum L_r$ is the sum of route lengths, km;

L_{RN} – length of the route network (length of SRN, serviced by public passenger transport routes), km.

The route factor is suitable for an averaged assessment of the state of the route network based on duplication (density) of route segments, is generalised and does not allow comparing the characteristics of routes with each other. There is also a slightly different interpretation of this factor, when the denominator indicates the length of the entire SRN [13].

The route duplication factor allows performing route pairwise comparison according to the length of their overlapping segments. Most commonly it is presented as follows [14]:

$$K_d = \frac{L_{drs}}{L_R} 100\%, \quad (2)$$

where L_{drs} is the length of all duplicated segments of a route, selected as the base one,



relative to another (for example, the projected route relative to the existing one), km;

L_R is the total length of the route chosen from two considered routes as the base, km.

Routes with a duplication rate of more than 60–95 % (different authors define this boundary differently) [14–16, etc.] are recognised as completely duplicated, and hence one or more of them are proposed to be cancelled. For existing routes, redistribution of the released passenger traffic to the remaining routes is provided.

The factor (2) can be further developed with the help of other factors, clarifying the characteristics of route duplication, for example:

a) Network route duplication factor, which allows to determine the proportion of duplicated segments of the route network:

$$K_{ND} = \frac{\sum L_{dn}}{L_{RN}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

where $\sum L_{\text{dn}}$ is total length of duplicated segments of route network, km;

L_{RN} is length of the route network, km.

b) Weighted average share of duplication in the length of routes:

$$\nu_D = \frac{\sum L_{drs}}{\sum L_R} \cdot 100\%, \quad (4)$$

where $\sum L_{\text{drs}}$ is the sum of lengths of duplicated segments of each route, km;

$\sum L_{\text{R}}$ is the sum of lengths of routes, km.

The peculiarity of the presented factors is that duplication is assessed topologically: based on the length of the route segments. They make it possible to determine the level of provision of SRN with routes, are related to some extent to the loading of SRN with public transport (through the parameters of the routes), but they do not reflect the effect of duplication on the needs of passengers for transportation. This feature emphasises their secondary nature, since they do not so much determine but depend on availability of routes shaped based on transportation demand. So, they are closer to the issues of traffic management than to the issues of passenger transportation. Curiously, this approach has also become internationally widespread [17–19, etc.][1].

In the field of public transit services and organisation of passenger transportation, the problem of route duplication is different and concerns:

• The need to ensure an acceptable level of distribution of public transit vehicles per stopping points, which have a significant impact on the carrying capacity of routes.

• The search for opportunities for using on the routes of vehicles of a higher class than that of operated rolling stock, while ensuring efficiency of their use (passenger load factor).

• Changes in the level of competition between individual routes or carriers.

The solution to these issues should be considered not based on comparing the lengths of route segments but based on comparing directions and volumes of passenger origin-destination flows between pairs of stopping points, since the structure and characteristics of public transport services are mainly determined by the nature of people's needs for movement. Accordingly, in the problem of evaluating route duplication, the main attention should be paid not to the links of the route network (segments, sections), but to its nodes which are stopping points.

The analysis of literature sources showed that A. S. Kazhaev turned out to be close to this approach in his dissertation work [20], but the author failed to reveal the essence of the issue and limited himself to using the stopping points adjacency factor. Other works offer correct description of the problem, the correct direction of research regarding the importance of passenger origin-destination flows between stopping points, but they seem not to run up to the method of determining duplicate routes. It is possible to mention among sources in Russia the Methodological recommendations of the Ministry of Transport of Russia on development of a planning document for regular transportation [21]; among international sources, for example, recommendations developed for the city of Edmonton [22].

For the convenience of description and clarity of the differences between two approaches (respectively based on the length of routes (first approach) and on passengers' origin-destination flows (second approach)) we will further replace the concept of route duplication by route adjacency.

The definition of route adjacency within the second approach is developed as follows.

Let select within the entire set of routes R several routes $R_r \in R$ which have at least one segment connecting two or more common

[1] SEPTA. Southeastern Pennsylvania Transportation Authority. Frequently asked questions. [Electronic resource]: https://www.septa.org/service/bus/network/faq.html. Last accessed 29.11.2020.



Pic. 1. Variants of schemes of an elementary route network (compiled by the author).

stopping points $S_r \in S$ (where S is a set of stopping points).

All stopping points S according to their functional purpose are divided into stopping points of departure (origin) $O \in S$ and stopping points of arrival (destination) $D \in S$ of passengers. Each pair of stopping points O and D is characterised by a certain volume of passenger trips:

$Q(o, d) \mid o \in O, d \in D,$

where o, d are numbers of stopping points, respectively, of origin and destination of passengers.

Let denote by $Q_a(o, d) \subset Q(o, d)$ the number of adjacent passengers' origin-destination trips that can be identified when travelling on any of the considered routes R_r between a pair of stopping points o and d. The number of passengers' trips that can be made only on specific routes out of considered R_r number of routes between a pair of stopping points o and d will be denoted as $Q_R(o, d) \subset Q(o, d)$. Then the adjacency factor for two or more (k) routes R_r will get the form:

$$K_a = \frac{\sum_{r=1}^{k} Q_a(o,d)}{\sum_{r=1}^{k} \left(Q_a(o,d) + Q_R(o,d)\right)} \cdot 100\ \%. \qquad (5)$$

Examples

Example 1

For clarity of differences between approaches (between the existing first approach and the proposed second one) to estimation of duplication (adjacency) of routes, let us consider a game model of choosing the best option for each approach from two variants of route networks, characterised by opposite limiting states.

1. Determining duplication of routes according to the length of their segments.

Let's consider two elementary route networks a and b, consisting of two simple routes. One network (a) has an extended duplicated segment, and the other (b) has a short one. The characteristics of routes r_1 and r_2 are shown in Pic. 1. Duplication rate of more than 80 % is considered as a high route duplication level.

It is required:

- To calculate values of route factor; route duplication factor for r_1 and r_2; network route duplication factor; the weighted average share of duplication in the length of routes.
- To determine the presence of routes with a high level of duplication and the need to cancel one of them.

Let's determine the values of factors for the route network a:

1) Route factor is determined according to formula (1):

$$K_r = \frac{L_{r1} + L_{r2}}{L_{RN}} = \frac{11+12}{10+2+1} = 1,77.$$

2) Route duplication factor is determined by formula (2) for cases when route r_1 or r_2 is taken as the base route:

$$K_{D_{r_1}} = \frac{L_{dr}}{L_{r1}} \cdot 100\ \% = \frac{10}{11} \cdot 100\ \% \approx 92\ \%,$$

$$K_{D_{r_2}} = \frac{L_{dr}}{L_{r2}} \cdot 100\ \% = \frac{10}{12} \cdot 100\ \% \approx 83\ \%.$$

3) Network route duplication factor is determined by formula (3):

$$K_{ND} = \frac{\sum L_{dn}}{L_{RN}} \cdot 100\ \% = \frac{10}{10+1+2} \cdot 100\ \% \approx 77\ \%.$$

4) Weighted average share of duplication in the length of routes is determined by formula (4):

$$\nu_D = \frac{L_{dr_1} + L_{dr_2}}{L_{r_1} + L_{r_2}} \cdot 100\ \% = \frac{10+10}{11+12} \cdot 100\ \% \approx 87\ \%.$$

The values for the route network b are calculated similarly:

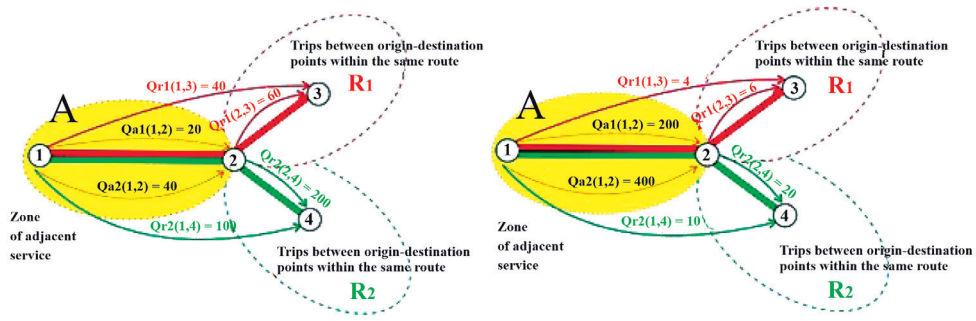
1) Route factor:

$$K_R = \frac{L_{r1} + L_{r2}}{L_{RN}} = \frac{12+10}{2+10+8} = 1,1.$$

2) Route duplication factor:

$$K_{D_{r_1}} = \frac{L_{dr}}{L_{r1}} \cdot 100\ \% = \frac{2}{12} \cdot 100\ \% \approx 17\ \%,$$

$$K_{D_{r_2}} = \frac{L_{dr}}{L_{r2}} \cdot 100\ \% = \frac{2}{10} \cdot 100\ \% = 20\ \%.$$



a) *b)*

Pic. 2. Variants of schemes of an elementary route network (compiled by the author).

3) Network route duplication factor:

$$K_{ND} = \frac{\sum L_{dn}}{L_{RN}} \cdot 100\ \% = \frac{2}{2+10+8} \cdot 100\ \% = 10\ \%.$$

4) Weighted average share of duplication in the length of routes:

$$\nu_D = \frac{L_{dr_1} + L_{dr_2}}{L_{r_1} + L_{r_2}} \cdot 100\ \% = \frac{2+2}{12+10} \cdot 100\ \% \approx 18\ \%.$$

Brief analysis of the results of calculations following the first approach

Comparison of the values of the route factor for two route networks shows a higher level of duplication on the route network *a*, since $K_{Ra} > K_{Rb}$ (1,77 > 1,1). But this result does not have sufficient validity to draw conclusions about cancellation of routes: it is clear that with option *a*, duplication is higher, but it is not clear whether and what exactly needs to be changed? For this reason, it is inappropriate to use the considered factor for solving such problems; it is acceptable only for network problems of a higher level. It is excluded from further consideration in the present example.

From a comparison of values obtained for remaining factors, it follows that route network *a* is characterised by a high level of duplication (between pairs of routes it is of 83 and 92 %; on the network it is of 77 %). Since the values for routes exceed 80 %, according to the conditions of the problem, one of them must be cancelled. The contender for cancellation is route r_1, as it has a higher factor value. In practice, the selection priorities may be different: maintaining a route with better technical and operational characteristics, a more reliable carrier, the highest passenger traffic, etc.

Route network *b* has performance values many times lower than 80 %, so its routes are not subject to consideration.

2. Determining adjacency of routes based on the volume of passenger origin-destination trips.

The initial data are the same variants of elementary route networks (*a* and *b*) shown in Pic. 1, but supplemented with the values of the volume of passenger origin-destination trips in accordance with Pic. 2. The length of the route sections is not considered in this case.

It is required to calculate the values of the route adjacency factor for each option.

Solution

1) Adjacency factor of routes for option *a* will be equal (for convenience, we will replace some of the parentheses with square brackets):

$$K_a^a = \frac{Q_{A1}(1,2) + Q_{A2}(1,2)}{\left[Q_{A1}(1,2) + Q_{A2}(1,2)\right] + \left[\left(Q_{R1}(1,3) + Q_{R1}(2,3)\right) + \left(Q_{R2}(1,4) + Q_{R2}(2,4)\right)\right]} \cdot 100\ \% =$$

$$= \frac{20+40}{\left[20+40\right] + \left[\left(40+60\right) + \left(100+200\right)\right]} \cdot 100\ \% =$$

$$= \frac{60}{460} \cdot 100\ \% \approx 13\%.$$

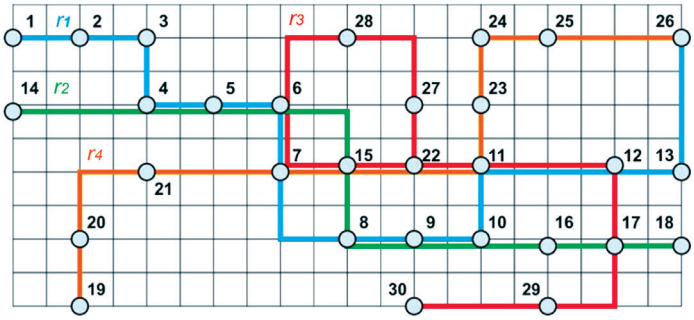
2) Adjacency factor of routes for option *b* will be:

$$K_a^b = \frac{200+400}{\left[200+400\right] + \left[\left(4+6\right) + \left(10+20\right)\right]} \cdot 100\% =$$

$$= \frac{600}{640} \cdot 100\ \% \approx 94\%.$$

Brief analysis of the results of calculations following the second approach

Route network a is characterised by a low level of demand by passengers for adjacent route nodes (13 %) and is inappropriate for consideration since it does not meet the stated condition: 13 % << 80 %. On the contrary, route network *b* is characterised by a high demand for adjacent nodes of routes by



Pic. 3. Route network chart (compiled by the author).

passengers and shows a high level of route adjacency (94 %), so it is possible to cancel route r_1, characterised by a smaller volume of passengers (the possibility of introducing separate trips on the remaining route in direction 2– 3).

Comparison of two approaches based on the obtained results

Comparison of the values of factors of duplication and adjacency of routes by length and by the volume of passenger origin-destination trips showed opposite results for route networks *a* and *b*. Using the first approach, a high level of route duplication is observed on route network *a*, and in the second approach, it is observed on route network *b*.

The results obtained confirm the different nature of factors and the absence of a direct relationship between the needs of passengers for transportation by public transport and the length of adjacent route segments. Accordingly, assessment of adjacency of routes according to formulas (1–4) does not allow to correctly determine the level of duplication of routes regarding transport services for the population and to make a right decision to change the route network based on those formulas. We will leave the issues of traffic management and traffic frequency outside the scope of this article.

The route adjacency factor, on the contrary, made it possible, according to formula (5), to obtain the desired correct level of route adjacency, which turned out to be characteristic only of route network *b*, and to identify the route to be cancelled. However, it is necessary to be careful when making a final decision. Despite consistency and the observed weight of the obtained value, it refers to a necessary but insufficient condition for cancelling any of the routes. Sufficiency can be ensured only on the basis of a full analysis of non-adjacent segments of routes, carrying capacity of the adjacent segment, social significance of routes under consideration and of stopping points on them, available and planned volumes of resource provision for operation of routes, assessment of feasibility of introducing supply routes (in the example, between stopping points 2–3–4) or combining adjacent routes into a single one with different modes of operation of vehicles along its length (main trips between terminal points 1–2, shorter trips between terminal points 1–3 and 1–4), assessment of other situations. The author witnessed a case when 100 % adjacent trolleybus and bus routes were forced to be kept due to insufficient carrying capacity of the trolleybus route and to ensure uninterrupted communication in cases of power outages. Therefore, it is only based on a multifaceted analysis that a final decision should be made to cancel or maintain any of adjacent routes. This condition also diminish the significance of the task of standardising and setting the maximum permissible values of the adjacency factor as a criterion for cancelling or maintaining adjacent routes, but does not exclude it.

Example 2

For clarity, the first example was shown on an elementary route network of two routes. In real conditions, the structure of route networks is more complex, raising the question of applicability of considered approaches to assessing adjacency of a larger number of routes, including those with different adjacent segments. The applicability of the metrics at the network level needs to be confirmed. To do this, we will use a slightly more complex model to show the application of formulas (1, 3–5). The factor determined by the formula (2) does not apply to the network, therefore it is not subject to consideration in this example.

Table 1

Average daily distribution of passenger origin—destination trips (compiled by the author)

№№ ОП	Departure (origin) point																																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Σ	
Destination points 1		55	54	52	51	49	48	45	44	42	41	39	38													350					**908**
2	55		69	67	65	63	62	58	56	55	53	50	49													460					**1107**
3	54	69		86	83	81	78	74	72	70	68	64	62													580					**1318**
4	52	67	86		140	136	66	124	120	116	57	53	52	68	64	57	55	53								490					**1651**
5	51	65	83	140		164	80	150	146	142	69	65	63	78	78	69	67	65								590					**1826**
6	49	63	81	136	164		251	182	176	172	225	212	76	88	245	83	211	78				146				720			123	116	**3104**
7	48	62	78	66	80	96		87	84	82	158	75	73		87				77	79	84	84	79	77	75	1380					**2581**
8	45	58	74	124	150	182	87		258	250	121	114	111	108	129	121	118	114								1050					**2494**
9	44	56	72	120	146	176	84	258		302	147	138	134	123	147	147	143	138								1270					**2689**
10	42	55	70	116	142	172	82	250	302		155	146	142	122	146	155	150	146								1340					**2502**
11	41	53	68	57	69	223	158	121	147	155		274	113		246		154		94	97	103	279	116	113	109	2060	158	149	145	137	**4347**
12	39	50	64	53	65	210	75	114	138	146	279		61		14		18					17				580	17	16	17	16	**756**
13	38	49	62	52	63	76	73	111	134	142	113	61														1000					**1000**
14				68	78	88		108	123	122					250	222	216	210													**898**
15				64	78	94	87	129	147	146	249	15		250		73	228	69	69	71	75	257	75	73	71	670			148	139	**2018**
16				57	69	83		121	147	155				222	73		355	344													**699**
17				55	67	209		118	143	150	158	19		216	172	355		300				60					58	55	64	60	**597**
18				53	65	78		114	138	146				210	69	344	300														
19							77				94				69					69	65	57	54	53	51	480					**829**
20							79				97				71				69		59	52	49	48	46	440					**694**
21							84				103				75				65	59		43	41	39	38	360					**521**
22						153	84				284	18			215		63		57	52	43		78	76	74	700	82	78	71	67	**1226**
23							79				116				75				54	49	41	78		138	134	1260					**1532**
24							77				113				73				53	48	39	76	138		154	1450					**1604**
25							75				109				71				51	46	38	74	134	154		2000					**2000**
26	350	460	580	490	590	720	1380	1050	1270	1340	2060	580	1000		670				480	440	360	700	1260	1450	2000						
27						149					136	15			117		51					73						166	120	113	**399**
28						158					145	15			124		54					78							154	145	**299**
29						121					149	18			95		67					76					205	154		200	**200**
30						114					141	17			89		63					71					194	145	200		
Σ	**908**	**1107**	**1318**	**1651**	**1826**	**3102**	**2581**	**2494**	**2689**	**2502**	**4346**	**758**	**1000**	**898**	**2058**	**699**	**598**		**829**	**694**	**521**	**1226**	**1532**	**1604**	**2000**		**399**	**299**	**200**		**79638**

Let us consider a route network consisting of four routes (Pic. 3). The routes are traced on a regular SRN with a cell edge length of 0,25 km and have a length of: L_{r1} = 8 km, L_{r2} = 6 km, L_{r3} = 6,5 km, L_{r4} = 8 km. The length of the route network is 23 km. The total number of stopping points operating in one or several directions is 30 units. The average daily distribution of passengers' origin-destination trips on the route network is presented in Table 1.

Let's calculate the values of factors according to formulas (1, 3–5):

1) Route factor:

$$K_R = \frac{L_{r1} + L_{r2} + L_{r3} + L_{r4}}{L_{RN}} = \frac{8+6+6,5+8}{23} = 1,24,$$

i.e., on average, for every fourth section of the route network there are two routes, for other three sections there is a single route.

2) Network route duplication factor:

$$K_{ND} = \frac{\sum L_{dn}}{L_{RN}} \cdot 100\ \% = \frac{5}{23} \cdot 100\ \% \approx 22\ \%.$$

3) Weighted average share of duplication in the length of routes:

$$\nu_D = \frac{L_{dr_1} + L_{dr_2} + L_{dr_3} + L_{dr_4}}{L_{r_1} + L_{r_2} + L_{r_3} + L_{r_4}} \cdot 100\ \% =$$

$$= \frac{3,5+2+1,5+3}{8+6+6,5+8} \cdot 100\ \% \approx 35\ \%.$$

4) Factor of adjacency of routes will be (values in the numerator and denominator are pre-summed based on Table 1):

$$K_a = \frac{16621}{16621+63017} \cdot 100\ \% \approx 21\ \%.$$

In the given example, the values of the network route duplication factor and the route adjacency factor turned out to be close. Note that a certain relationship between them can really exist in polyfunctional cities, where distribution of the population's trips depends on the distance (time) of movement of people. However, this connection is not typical of all cities. To a lesser extent, it manifests itself in monofunctional settlements: industrial, resource-extracting, industrial, resort cities, etc.

Pairwise comparison of routes (six options were considered, calculations are not presented) showed that when determining the network route duplication factor, only three pairs of routes with values of the factor from 9 to 14 % were adjacent. When determining the route adjacency factor, five pairs of routes turned to be adjacent, the values of the adjacency factor ranged from 4 to 11,4 %. Thus, routes not adjacent in length and topology turned out to be partially adjacent in terms of passenger trips between stopping points. When comparing groups of three routes (four options), the values of the network route duplication factor ranged from 7 to 16 %, and the route adjacency factor was from 5,5 to 17,5 %.

As can be seen, in all the cases there are no routes with a high level of duplication. At the same time, the presented example gives an answer to the main question posed: formula (5), along with formulas (1, 3, 4), regarding its target turned out to be applicable to diagnose duplication of route clusters and the entire route network.

CONCLUSIONS

1. For the sphere of public transport services, it has been established that it is inexpedient to use route duplication factors based on comparing lengths of adjacent route sections, since such factors do not consider the needs of passengers for travelling, volumes and directions of trips, and the results may differ significantly from the logic of planning and organising public passenger transportation and lead to an incorrect result.

2. It is advisable to evaluate duplication (adjacency) of regular transport routes when diagnosing the current state and planning the development of route networks of cities based on the proposed route adjacency factor, which considers the direction and volume of passenger trips between network nodes (stopping points). The factor is useful for comparing pairs of routes, route clusters and entire route networks.

3. If the results reflect a high level of route adjacency, the final decision on maintaining, changing, or cancelling routes should be made only after a comprehensive analysis of other factors, not limited to the route adjacency factor.

4. It is shown that the use of the route factor for a detailed assessment of route duplication is inappropriate due to its lack of information and inadequacy for making decisions on maintaining or cancelling routes. This factor is only applicable for solving high-level network problems.

REFERENCES

1. Jeffrey, S. Delivering change — improving urban bus transport. [Electronic resource]: https://www.centreforcities.org/reader/improving-urban-bus-services/deregulation-makes-improving-bus-services-harder-for-mayors/. Last accessed 24.11.2020.

2. Andreev, K., Terentyev, V. Development of strategies for the development of urban passenger transport in EurAsEC countries. ITESE-2019, E3S Web of Conferences, Vol. 135, 02013 (2019). DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913502013. Last accessed 24.11.2020.

3. Yakimov, M., Trofimenko, Yu. Developing an urban public passenger transport route network with account for natural resource limitations. *Transportation Research Procedia*, 2018, Vol. 36, pp. 801–809. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.078. Last accessed 24.11.2020.

4. Petrelli, M. A transit network design model for urban areas. WIT Transactions on the Built Environment, 2004, Vol. 75. DOI: 10.2495/UT040171. Last accessed 24.11.2020.

5. Wang, J. J., Po, K. Bus Routing Strategies in A Transit Market: A Case Study of Hong Kong. *Journal of Advanced Transportation*, 2001, Vol. 35 No. 3, pp. 259–288. DOI: https://doi.org/10.1002/atr.5670350306. Last accessed 24.11.2020.

6. Problems of passenger transportation [*Problemy passazhirskikh perevozok*]. Public Chamber of the Russian Federation. [Electronic resource]: https://www.oprf.ru/ru/about/interaction/region_chambers/431/2584/newsitem/50418?PHPSESSID=hkjfahnf5ek219mdhhp99k7hk2. Last accessed 20.11.2020.

7. Polukhin, E. Changes have come. How the problem of passenger transportation is being solved in Voronezh [*Dozhdalis' peremen. Kak v Voronezhe reshaetsya problema passazhirskikh perevozok*]. *RIA. Voronezh*. [Electronic resource]: https://riavrn.ru/news/dozhdalis-peremen-kak-v-voronezhe-reshaetsya-problema-passazhirskikh-perevozok-/. Last accessed 20.11.2020.

8. Large-scale changes in public transport routes are expected in Oryol [*V Orle ozhidayutsya masshtabnie izmeneniya v marshrutakh obshchestvennogo transporta*]. Oryol.times. [Electronic resource]: https://oreltimes.ru/news/obshhestvo/v-orle-ozhidajutsja-masshtabnye-izmenenija-v-marshrutah-obshhestvennogo-transporta/. Last accessed 20.11.2020.

9. All under one tariff. In Yaroslavl, private carriers will be equated to municipal ones [*Vsekh pod odin tariff. V Yaroslavle chastnykh perevozchikov priravnyayut k munitsipalnym*]. *Rossiyskaya Gazeta. Economy of the Central District No. 89 (7847)*. [Electronic resource]: https://rg.ru/2019/04/23/reg-cfo/v-iaroslavle-obiavili-o-reforme-gorodskogo-passazhirskogo-transporta.html. Last accessed 20.11.2020.

10. Ovcharuk, N., Nikolaev, S., Belov, E. Where is this city heading? How to solve the problems of public transport in Ufa [*Kuda katitsya etot gorod? Kak resrhat problemy obshchestvennogo transporta Ufy*]. *Bashinform.rf*. [Electronic resource resource]: https://www.bashinform.ru/longread/transport-v-ufe/. Last accessed 20.11.2020.

11. Efremov, I. S., Kobzev, V. M., Yudin, V. A. Theory of urban passenger transportation: Study guide for universities [*Teoriya gorodskikh passazhirskikh perevozok: Ucheb. posobie dlya vuzov*]. Moscow. Vysshaya shkola publ., 1980, p. 133.

12. Spirin, I. V. Organization and management of passenger road transportation: Textbook for students of secondary education institutions [*Organizatsiya i upravlenie passazhirskimi avtomobilnymi perevozkami: Uchebnik dlya stud. uchrezhdenii sred.prof.obrazovaniya*]. Moscow, Publishing center «Academy», 2007, p. 163.

13. Grishchuk, D. V. Assessment of efficiency of the bus transport system in Kazan [*Otsenka effektivnosti sistemy avtobusnogo transporta Kazani*]. *Bulletin of Irkutsk State Technical University*, 2019, Vol. 9, No. 2, p. 84. [Electronic resource]: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39542651. Last accessed 30.11.2020.

14. Resolution of the administration of the city of Irkutsk dated 24.12.2015 No. 031-06-1231/5 «On organisation of regular transportation of passengers and luggage by road and urban land electric transport in the city of Irkutsk» (as amended and supplemented dated 25.12.2018). [Electronic resource]: http://docs.cntd.ru/document/440526818. Last accessed 24.11.2020.

15. Kuzkina, N. A. Lavrushina, E. M., Evtikova, E. A. Estimation of the degree of duplication of urban passenger transport by suburban routes [*Otsenka stepeni dublirovaniya gorodskogo passazhirskogo transporta prigorodnymi marshrutami*]. *Proceedings of VIII International Student Scientific Conference «Student Scientific Forum»*. [Electronic resource]: http://scienceforum.ru/2016/article/2016020238. Last accessed 26.11.2020.

16. Resolution of administration of the urban district of the municipal formation «city of Sayansk» dated 25.01.2017 No. 110-37-56-17 «On amendments to the resolution of the administration of the urban district of the municipal formation «city of Sayansk» dated 28.12.2015 No. 110-37-1272-15 «On approval of the Regulation on organisation of regular transportation of passengers and luggage by road on the territory of the municipal formation «City of Sayansk». [Electronic resource]: http://www.admsayansk.ru/qa/5310.html. Last accessed 30.11.2020.

17. Transit standards and performance measures. Procedures guide. USA, Valley Metro, 2019, p. 11. [Electronic resource]: https://www.valleymetro.org/sites/default/files/tspm_procedures_guide_final_10.04.19.pdf. Last accessed 28.11.2020.

18. Harrison, K. Measuring Access to Employment to Guide and Evaluate Public Transit Service Planning in New Orleans. University of New Orleans Theses and Dissertations, 2016, 46 p. [Electronic resource]: https://scholarworks.uno.edu/td/2256. Last accessed 29.11.2020.

19. Best Practices in Transit Service Planning. Final Report. Project No. BD549-38. USA: Prepared by the Center for Urban Transportation Research University of South Florida, 2009, pp. 14–15. [Electronic resource]: https://www.nctr.usf.edu/pdf/77720.pdf. Last accessed 29.11.2020.

20. Kazhaev, A. A. Reducing conflict situations at stopping points of route networks of urban passenger transport. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [*Snizhenie konfliktnykh situatsii na ostanovochnykh punktakh marshrutnykh setei gorodskogo passazhirskogo transporta. Avtoref. dis... kand. tekh. nauk: 05.22*]. Moscow, 2012, 19 p. [Electronic resource]: https://dspace.susu.ru/xmlui/bitstream/handle/ 0001.74/5911/000486807.pdf?sequence=3&isAllowed=y?sequence=3&isAllowed=y. Last accessed 24.11.2020.

21. Guidelines for development of a Planning document for regular transportation of passengers and luggage on municipal and intermunicipal routes by road and urban land electric transport: approved by Deputy Minister of Transport of the Russian Federation A. K. Semenov dated June 30, 2020 (as amended on June 30, 2020). [Electronic resource]: http://www.consultant.ru/ document/cons_doc_LAW_352633. Last accessed 24.11.2020.

22. Accelerating Transit in the Edmonton Metropolitan Region: Building a Regional Transit Services Commission. ADDENDUM, 2020. [Electronic resource]: https://www.fortsask.ca/en/your-city-hall/resources/Documents/News/News-Releases/2020/Accelerating-Transit-in-Edmonton-Metropolitan-Region-Addendum.pdf. Last accessed 29.11.2020.

ОБРАЗОВАНИЕ И КАДРЫ • HRM, EDUCATION & TRAINING

ОНЛАЙН ОБРАЗОВАНИЕ ДЛЯ ТРАНСПОРТА 230

Вынужденная мера или повод ускорить внедрение цифровых образовательных технологий?

ВОЛОНТЁРСТВО В ТРАНСПОРТНОМ ВУЗЕ 246

Добровольная помощь маломобильным людям и инвалидам: мотивация творить добро



ONLINE EDUCATION AND TRAINING FOR TRANSPORT 238

Forced measure or time to accelerate adoption of digital learning technology?



VOLUNTEERING IN THE UNIVERSITY TRAINING FUTURE TRANSPORT EMPLOYEES 253

Voluntary assistance to less mobile people and people with disabilities: incentives to do good.

УДК 378.147.372.853
DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-230-245

Опыт применения онлайн-технологий в транспортном образовании







Александра СМЫК **Татьяна ТКАЧЕВА** **Галина ТИМОФЕЕВА**

Смык Александра Фёдоровна *– Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва, Россия.*
Ткачева Татьяна Михайловна *– Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва, Россия.*
Тимофеева Галина Юрьевна *– Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва, Россия*.*

Целью настоящей статьи является выявление педагогических технологий, традиционно применявшихся в очном формате обучения, которые нашли своё место при изменении образовательных форматов в эпоху цифровой трансформации. Обсуждаются проектный метод, кейс-метод, анализ цифрового следа, использование игровых методик обучения, виртуальные лабораторные работы, различные виды Интернет-тестирования, методы коллективного поиска решения проблемы. Эмпирической основой исследования стало использование рассмотренных методов в учебном процессе по дисциплине «Физика» в Московском автомобильно-дорожном государственном техническом университете (МАДИ), в том числе с учётом перехода на дистанционные формы обучения в период пандемии.

Самым эффективным и разработанным методом оказался проектный метод. Его применение позволило организовать участие обучающихся 1–2 курсов в учебно-исследовательских работах под руководством преподавателей, которые связаны с физикой и выбранным направлением подготовки в МАДИ. Показано, что в результате студенты приобретают навыки поиска и отбора необходимой информации, учатся выполнять проектные работы в срок, готовить презентации, писать научные тексты как для произнесения их в качестве докладов, так и в качестве текстов научных статей. Приведены возможности использования электронных журналов, в которых фиксируются и посещение занятий, и выполнение заданий, причём принимается во внимание временной фактор (вовремя сдал работу или опоздал). Рассмотрено применение балльно-рейтинговой системы для контроля текущих заданий, а также приведены разработки преподавателей кафедры по организации устного экзамена и зачёта по физике в онлайн-формате.

Ключевые слова: транспортное образование, онлайн-формат образования, цифровая образовательная платформа, информационные технологии, физика, опыт, проектный метод.

---

*Информация об авторах:
Смык Александра Фёдоровна – доктор физико-математических наук, заведующая кафедрой физики Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва, Россия, ✉ afsmyk@mail.ru.
Ткачева Татьяна Михайловна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва, Россия, tatmihtka@rambler.ru.
Тимофеева Галина Юрьевна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва, Россия, galina.omega@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 03.02.2021, принята к публикации 26.02.2021.

For the English text of the article please see p. 238.

ВВЕДЕНИЕ

Переход на использование цифровых технологий является процессом, в полной мере отражающим современные тенденции в экономике, в частности, на транспорте. Тема является в полной мере актуальной и носит глобальный характер для системы образования. Не является исключением и Россия, где внедрение цифровых технологий в образование обсуждалось и подготавливалось уже несколько лет.

Ещё в 2017 году при принятии Федерального закона «Об образовании в Российской Федерации» и в рамках выполнения Национального проекта «Образование» ставилась задача об определении таких новых профессий, для которых необходимо знание информационных технологий. Очевидно, что такую задачу невозможно выполнить как без использования в ходе обучения информационных технологий, так и без владения этими технологиями со стороны обучающихся. Это полностью отражено в программе развития в России цифровой экономики, которая «...направлена на создание условий для развития общества знаний в Российской Федерации, ... повышения степени информированности и цифровой грамотности...»[1].

Реализация этих задач невозможна без повышения уровня цифровых знаний у населения, у молодёжи, выпускников средней школы, которые после последующего обучения в высшей школе или в колледжах пополняют ряды специалистов. Соответственно, возникла необходимость модернизации образовательных программ всех уровней образования и повышения мотивации к освоению цифровых навыков у населения. Таким образом, с учётом сформированной законодательной базы уже с 2017 года вплотную велась подготовка к переходу некоторой части образовательных процессов в онлайн-формы. Однако гром грянул без предупреждения: пандемия коронавирусной инфекции заставила в одночасье перейти на онлайн-образовательный процесс всем сразу – и общеобразовательной школе, и колледжам, и вузам, и университетам.

Настоящая статья написана по итогам довольно длительного дистанционного режима работы университета. В этот период особенно важно было не потерять студентов и их желания учиться, несмотря на новые условия.

Преподаватели осознали, что дистанционное образование – это абсолютно другая технология. Для того, чтобы этой технологией овладеть, необходимо изменить саму идеологию обучения. Когда учебный процесс происходит в традиционном формате, то заранее известны цели и формы, методики обучения. В дистанционном режиме преподаватель сталкивается с обилием электронных ресурсов, с одной стороны, и отсутствием навыков и методик применения цифрового обучения, с другой.

Целью настоящей статьи является обзор анализа имеющихся педагогических технологий, которые были адаптированы для онлайн-формата обучения. Эмпирические результаты, полученные при использовании этих технологий на кафедре физики МАДИ и в очном, и в онлайн-формате, характеризуют их актуальность и эффективность.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Как стало понятно по результатам вынужденного перехода на дистанционный режим обучения, для улучшения его эффективности необходимо модернизировать имеющиеся и внедрить новые педагогические технологии. Хорошо известны методы концентрации и поддержания внимания студентов на очных занятиях. Этими методами являются разнообразные проблемные методы, включая проектный метод, модульный метод, метод кейсов, методы «перевёрнутого класса», геймификация, а также методы коллективного поиска решения, например, мозговой штурм. Все эти методы в той или иной степени используются и в онлайн-формате обучения, причём их эффективность зависит от всех участников учебного процесса. Метод проектной работы и кейс-метод могут сливаться в один, цель которого – разбудить в обучающихся интерес не только к учёбе как таковой, но и к творческому способу изучения наук.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Некоторые характеристики онлайн-формата обучения

Ещё до вспышки пандемии COVID-19 рынок ежегодных предоставляемых услуг онлайн-образования в Российской Федерации оценивался в 38,5 млрд руб. Прогноз роста этой части образовательных услуг составлял 12–15 % в год. Понятно, что из-за

[1] Программа «Цифровая экономика Российской Федерации». Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р. [Электронный ресурс]: http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf. Доступ 24.11.2020.

пандемии коронавируса спрос на услуги по онлайн-образованию резко выросли – вплоть до 100 % во время самоизоляции [1]. Насколько долго этот спрос будет востребован, покажет время. Однако уже сейчас можно сказать, что, испытав трудности при использовании онлайн-обучения, которые коснулись и обучающихся, и преподавателей, всё же есть и некоторые положительные изменения. Например, высвобождение времени для учёбы или работы за счёт сокращения времени на переезд от дома к месту работы (это, в основном, актуально для жителей больших городов). У работающих обучающихся (студенты заочных отделений, освоение новых профессий без отрыва от имеющейся работы, корпоративное обучение) онлайн-формат и так востребован и широко применяется.

Разумеется, онлайн-формат не может научить коммуникации, коллективной работе в команде, не может социализировать учащихся так, как это получается при очном взаимодействии учитель–ученик и ученик–ученик. Но при этом развиваются важные для современного человека навыки работы с цифровыми технологиями, за которыми будущее. Современные студенты и, тем более, школьники представляют собой поколение, которое родилось с гаджетами в руках. Использование самых разных программ быстрее всего осваивают молодые, несмотря на некоторую «общую неграмотность»: они не умеют говорить, грамотно писать, считать в уме или даже столбиком, но быстро и решительно принимают все онлайновые переходы.

Цифровое неравенство

Для успешного освоения онлайн-формата необходимо, как минимум, выполнение четырёх условий:

- цифровое равенство;
- цифровая грамотность;
- модернизация образовательного процесса;
- анализ цифрового следа обучающихся.

«Цифровым неравенством» называют отсутствие доступа к современным информационным технологиям, которое может проявляться в зависимости от удалённости рассматриваемого региона любой страны от столиц, а также из-за социального неравенства населения из-за разницы в доходах [2]. Социальное расслоение в Российской Федерации довольно высокое, так как доходы богатых в 16 раз больше доходов бедных граждан. Скорость подключения к сети Интернет и стоимость передачи 1 Гб данных резко отличаются в столичных регионах и на периферии [3].

Цифровая грамотность

Кроме доступа к Интернету, для успешного пользования информационными технологиями необходима цифровая грамотность. Человек, обладающий цифровой грамотностью, располагает умениями и навыками использования различных гаджетов со всеми возможными приложениями – социальные сети, электронная почта, Skype, WhatsApp, Telegram и прочие, пониманием и соблюдением цифровой этики и безопасности в Интернете, представлением о цифровом следе (тени), о кибербуллинге и борьбе с ним. По данным Национального агентства финансовых исследований (НАФИ), в первом квартале 2020 года лишь 27 % россиян имели высокий уровень цифровой грамотности [4]. Рассчитанный НАФИ индекс цифровой грамотности учитывал пять составляющих:

- информационная грамотность;
- коммуникативная грамотность;
- создание цифрового контента;
- цифровая безопасность;
- навыки решения проблем в цифровой среде.

Этот индекс оказался равен 58 из 100 пунктов.

О цифровой грамотности беспокоятся не только в нашей стране, но и в мире. В 2018 году в материалах саммита глав развитых стран была названа одна из важных и становящаяся фундаментальной компетенция – цифровая компетенция, которая включает в себя цифровую грамотность, то есть уверенное, осознанное и ответственное использование и взаимодействие с цифровыми технологиями для обучения, работы и участия в жизни общества[2].

Несмотря на не очень высокие показатели цифровой грамотности в целом у населения России, и студенты, и преподаватели вузов, и учителя школ, и сами школьники, будучи

[2] Лидеры G-20 приняли итоговую декларацию по итогам саммита в Буэнос-Айресе // Ведомости. – 2 декабря 2018 г. [Электронный ресурс]: https://www.vedomosti.ru/politics/news/2018/12/01/788103-lideri-g20-deklaratsiyu-buenos-airese. Доступ 24.11.2020.

вынуждены перейти на онлайновые формы учебного процесса, всё-таки вписались в этот новый для всех участников формат учебного процесса. Большинство университетов Российской Федерации сумели в очень короткий срок решить эту трудную задачу – организовать всеобщее онлайн-обучение.

Педагогические технологии

Проектный метод

Ещё Джон Дьюи писал в 1899 году о необходимости реализовать влияние быстрых изменений в мире, чтобы оформить новые требования общества к уровню развития личности [5]. Он же предлагал использовать проектный метод в обучении. В 20-е годы XX века этот метод стали использовать и в учебном процессе в применении к школьному обучению. Активно разрабатывали этот метод У. Х. Килпатрик [6] с коллегами. Эти педагоги считали, что объединённая работа учащихся, вызванная интересом к теме проекта, становится не только частью самостоятельной работы, но и, способствуя возникновению новых знаний, развивает интеллектуальные способности учащихся.

По следам работ Д. Дьюи и У. Килпатрика в начале XX века пытались использовать этот метод и в советской школе [7]. Считалось, что совместная работа учащихся и педагога с привлечением практических разработок позволяет по-новому взаимодействовать и общаться учителям и учащимся, что превращает школу в кузницу будущих строителей «новой жизни». С. Т. Шацкий писал, что тесная связь учебного процесса и практической реальной работы позволит привить желание и умение работать [7]. Эту взаимосвязь пытались обеспечить и учёбой, и проектной работой в командах, в которых иногда один отвечал за всех участников. Однако гипертрофированное увлечение проектной работой с отказом от изучения традиционных дисциплин привело к снижению знаний учащихся. Позже проектная работа как педагогическая технология была забыта[3].

В настоящее время педагоги вернулись к поиску развития способностей учащихся через использование метода проектов как в средней, так и в высшей школе. Креативная педагогика привлекла внимание многих отечественных педагогов и исследователей, которые разрабатывали и продолжают разрабатывать и педагогические технологии, и философское осмысление этого феномена, и психологические аспекты творчества [8].

Проектный метод обобщает сразу несколько важных способов получения нового. Как хорошо известно, все пункты деятельности, необходимые для выполнения проекта, соединяют и творческие, и аналитические, и информационные, и коммуникативные компетенции. Начиная с выбора темы проекта необходимо найти, проанализировать и выбрать нужную информацию. Затем выработать подходящий для выполнения проекта план с учётом требуемого на каждый этап времени, распределить обязанности между участниками (что даёт право называть проектную работу подобием ролевой игры), выполнить проект, подвести итоги и проанализировать их. Такой вид учебного процесса для младших курсов университета возможен только при участии преподавателя. И сразу вспоминаем положения педагогической теории, развивавшиеся С. Т. Шацким: «*...понятие о разумной школе может быть таково: школа есть место, где обрабатываются, систематизируются результаты своего личного опыта и приводятся в связь с результатами чужого. Таким образом, создаётся возможность живой и важной умственной деятельности, развиваются и упражняются природные силы*» [7, с. 20–21].

Метод кейсов

Этот метод предполагает поиск вариантов решения проблемной ситуации, желательно реальной. Кейсы могут быть разными по проблематике и по назначению. Среди них можно выделить те, что важны для учебного процесса: это обучающие и исследовательские кейсы. И те, и другие позволяют получить и использовать навыки поиска и анализа информации, вариантов решений проблемы, оценки полученного решения. Проработка кейса позволяет научиться не просто слышать товарища по команде, но и слушать его, научиться работать в команде. Этими характеристиками метод кейсов в чём-то близок к проектному методу [9]. Разница состоит в том, что проектный метод ближе к выполнению реальной работы, часто гото-

[3] Постановлением ЦК ВКП(б) о начальной и средней школе (Приложение № 5 к п. 31 пр. ПБ № 58 от 25.VIII.1931 г.) метод проектов был запрещён. [Электронный ресурс]: https://istmat.info/node/53561. Доступ 24.11.2020.

вой к внедрению, а кейс-метод может содержать проблемы учебного характера, решение которых важно для понимания какого-то конкретного раздела изучаемой дисциплины.

Кейс-метод реализуется не только в письменной работе, но и включает в себя обсуждения предлагаемых решений участниками команды, что позволяет научиться сформулировать, высказать и отстаивать свою точку зрения. Правильно выполняемый кейс позволяет ощутить ответственность за принятое решение, за его выполнение. Всё это, в целом, повышает мотивацию к учёбе. Проблемы, решаемые кейс-методом, в идеале должны быть своего рода головоломкой, ситуацией с внутренней интригой, а решение должно давать возможность для постановки новых задач в будущем.

Геймификация

Для создания обучающей игры можно воспользоваться чужим опытом и повторить некоторые приёмы [10]. Большинство игр включают в себя уровневый порядок с получением премии или каких-то других преимуществ для игрока, участвующего в игре и выполнившего задание данного уровня. Если задание не выполнено, то участник оказывается опять в начале невыполненного уровня. И так повторяется на каждом из них. В течение игры незаметно для участника формируются навыки и происходит обучение в том формате, который выбран создателем игры. В качестве бонуса участник может получить дополнительные очки, например, во время игры на время, если он уложился в запланированное время или выполнил задание досрочно.

Участник игрового блока при выполнении заданий одновременно соревнуется с другими участниками. Опубликованные результаты могут выявить рейтинг данного участника, что является дополнительным стимулом быстро и успешно выполнить все задания. Платформа Moodle позволяет такой рейтинг выявить внутри какого-либо задания и содержит различные варианты для оценки знаний: можно создать любые тесты, провести любые опросы, задать написание эссе или отзыва. Для каждого задания можно выставить временны**е** рамки: дни недели или месяцы для выполнения задания, а также определить время выполнения каждой части задания – по минутам или как-то по-другому. Учёт времени выполнения и количество попыток также могут быть представлены в рейтинге [11].

Анализ цифрового следа студентов

Цифровым следом или тенью называют ту информацию, которая остаётся при использовании Интернета в любом виде: просмотр материалов, выполнение учебных заданий, участие в социальных сетях – и пассивное (только просмотр), и активное (посты и комментарии), а также в группах по интересам и выбор друзей. Как уже было рассмотрено выше, платформа Moodle позволяет использовать игровые методы, а также выявлять цифровой след учащихся при выполнении заданий [11]. Выполнение заданий на платформе Microsoft Teams также позволяет анализировать цифровой след студента.

Цифровым следом являются данные рейтинговой системы, полученные по результатам выполнения студентом заданий, а также те дополнительные действия студента во время обучения, которые представляют собой доклады и презентации на конференциях или при выполнении курсовых и дипломных проектов. Таким образом, хорошо налаженная система фиксации и анализа цифрового следа учащегося может рассказать о его развитии, о его возможностях и действиях во время учебного процесса (а не только в его внеучебной жизни). Эта система может помочь найти индивидуальную траекторию подготовки каждого студента, а также подскажет преподавателю о необходимых изменениях в данном конкретном учебном курсе и заданиях по проверке его освоения.

Виртуальная лаборатория

Уже не один год виртуальные лабораторные работы применяются в средней школе, например, «Виртуальные лабораторные работы по физике» компании «Проект-Сервис» и компании «Увлекательная реальность». Однако в связи с переходом на онлайн-формат обучения возник вопрос о виртуальных лабораторных работах в высшей школе. Разработкой виртуального практикума занимаются преподаватели разных университетов [12; 13], но, к сожалению, рыночная экономика диктует свои условия и воспользоваться разработками других университетов можно только путём заключения договоров с определённой оплатой. Поэтому многие университеты считают рациональным обходиться

своими силами. Возможно, это очень хороший опыт, но не всегда процесс подготовки проходит быстро и без дополнительных препятствий.

Опыт применения онлайн педагогических технологий

Проекты и кейсы

С началом применения дистанционного формата обучения преподаватели кафедры физики МАДИ приступили к созданию онлайн-курсов по физике, контрольных заданий с использованием цифровых платформ Microsoft Teams и Moodle, созданию виртуального практикума по физике. Но следует отметить, что многие упомянутые выше педагогические технологии использовались в очном обучении. Метод проектов был востребован при работе с обучающимися в течение многих лет. Только за последние пять лет на кафедре были выполнены более 70 проектов по физике, в основном, второкурсниками, и 68 проектов по дисциплине «Физические основы микроэлектроники». Некоторые из этих проектов можно сегодня приравнять к кейсам, причём к обучающим кейсам, так как они получились полными по изложению темы.

Например, проекты, связанные с реальной жизнью в МАДИ: исследование освещённости коридоров и учебных аудиторий, зависимости количества углекислого газа в аудиториях от времени проведения занятия. Материалы проекта по изучению погрешностей видеокамер, спидометров и навигатора позволяют быстрее сориентироваться водителям на дороге, где, как известно, необходимо правильно выбирать скоростной режим. Изучение влияния балансировки колёс на управляемость автомобиля непосредственно связано с безопасностью движения на дороге. С безопасностью движения связаны также проекты по изучению рекуперация энергии торможения автомобиля, поиску физических методов борьбы с шумами и вибрациями в автомобиле, по экспериментальному сравнению шумовых характеристик транспортного средства на шипованной и нешипованной резине, по практическому исследованию образования профиля дорожного покрытия типа «гребёнка», по рассмотрению влияния шипованных шин на износ дорожного покрытия.

Исследовательские проекты, которые можно считать и кейсами тоже, представляют результаты научной работы студентов, выполненной под руководством преподавателей кафедры, например, «Исследование СВЧ-излучения и высоковольтной электрической дуги в разных условиях зажигания», «Экспериментальное определение физико-механических характеристик автомобиля» или «Изучение свойств дилатантных жидкостей и их применение в разработке искусственных неровностей».

Проекты по дисциплине «Физические основы микроэлектроники» содержали информацию о способах выращивания и последующей обработки монокристаллов кремния – основного материала микроэлектроники, о новых разработках международных корпораций, выпускающих продукцию микроэлектроники, об устройствах-накопителях информации, о фотоэлектрических преобразователях в качестве локальной электростанции.

На кафедре физики МАДИ результаты проектной работы студентов первого и второго курсов представляются в виде докладов на ежегодной студенческой научно-методической конференции и в статьях, написанных совместно преподавателями и студентами.

Студенты участвуют в международных конкурсах студенческих проектов:

- Международный конкурс университетских групп Best University Group (Ступень: специалитет. Номинация: научные работы. Направление: физико-математические науки. Форма: отчёт по научно-исследовательской работе);
- Международный конкурс обучающихся и педагогов профессиональных учебных заведений Professional Stars (Ступень: специалитет. Номинация: научные работы. Направление: физико-математические науки. Форма конкурсного проекта: доклад);
- Международное первенство «Качество образования» (Ступень: специалитет. Номинация: научные работы. Направление: физико-математические науки. Форма конкурсного проекта: доклад).

Во всех этих конкурсах студенты МАДИ занимали призовые места с вручением сертификатов.

По результатам проектной деятельности за 2018–2020 годы преподавателями совмест-

но со студентами университета опубликовано более 15 статей в электронном журнале МАДИ «Автомобиль. Дорога. Инфраструктура» и в других изданиях.

Игровые методы

Использование игровых методик нашло применение при создании обучающей информационной системы («ИС–МАДИ физика»), благодаря которой студент и обучается, и одновременно выполняет задания, участвуя в рейтинговой системе оценки своих знаний. Информационная система построена по типу многоуровневой игры. Выполнение уровня низкой сложности позволяет перейти на следующий более сложный уровень и так далее, пока не будет достигнут результат – решение задачи повышенной сложности. Если во время прохождения какого-либо уровня допущены ошибки, то программа возвращает студента на более низкий уровень, и ему приходится проходить этот уровень снова. Все необходимые методические материалы для выполнения заданий в «ИС–МАДИ физика» студент может найти в электронном виде в рамках самой этой системы – лекции, презентации материалов, справочные таблицы [14].

Анализ цифрового следа

За время работы в онлайн-формате преподаватели стали активнее использовать Интернет для анализа эффективности учебной работы студентов. На платформе Microsoft Teams фиксируются все достижения студентов в электронных журналах, которые построены с учётом опыта длительного использования балльно-рейтинговой системы в очном обучении [15]. Цифровой след активности студентов на платформе Microsoft Teams представляют собой все ответы студентов на контрольные вопросы по лекциям, решения задач по текущему материалу, контрольные работы, а также результаты использования информационной системы «ИС–МАДИ физика» [16]. Студенты младших курсов, изучая физику, проходят различные виды Интернет-тестирования (от входного контроля до проверки остаточных знаний) с использованием программного обеспечения, созданного в МАДИ [17]. Цифровой след активности студентов на платформе Moodle представляют результаты тестирования по всем разделам физики, изучаемым в МАДИ, а также результаты заданий [18].

Лабораторный практикум

Одной из важных частей изучения физики в техническом транспортном университете является лабораторный практикум. Во время перехода на онлайн-формат пришлось переводить имеющийся лабораторный практикум в режим виртуального выполнения. В настоящее время по текущим разделам физики кафедра полностью оснащена виртуальными лабораторными работами, в которые входят методические и видеоматериалы, а также результаты измерений, сгенерированные индивидуально для каждого студента. Работа по созданию новых лабораторных работ продолжается.

Экзамен онлайн

Применявшаяся при очном обучении практика проведения промежуточной аттестации обучающихся в виде письменного экзамена в условиях онлайн-обучения стала невозможной. Необходимость контроля поведения студента во время экзамена и объективность оценивания компетенций, формируемых по итогам освоения дисциплины, привели к использованию устной формы экзаменов и зачётов. Устный формат экзамена получился по-настоящему устным: были созданы индивидуальные билеты, в которых содержались вопросы и задания, позволяющие оценить уровень освоения по различным показателям – знать, уметь, владеть. Экзаменационный билет студент получал под веб-камерой, на изучение вопросов отводилось не более пяти минут, а затем студент начинал отвечать. Результаты дистанционных экзаменов ещё предстоит осмыслить и выработать лучшие методики их проведения. Простое сравнение результатов экзаменов в очной и дистанционной формах показало, что количество полученных обучающимися неудовлетворительных оценок существенно меньше в онлайн-формате.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на срочность и неожиданность внедрения онлайн-формата для студентов всех форм обучения, опыт преподавания дисциплины «Физика» в транспортном университете показал возможности использования известных и регулярно использовавшихся в очном формате методов, а также вовле-

чения в учебный процесс новых методик и приёмов. Современные цифровые технологии позволяют заинтересовать удалённого обучающегося, удержать его внимание, мотивировать к освоению учебного материала. Об этом свидетельствуют и первые научные публикации, посвящённые анализу результатов вынужденного ускоренного перевода обучения в онлайн-формат (например, [19–22]). Онлайн-формат обучения – это процесс, отличный от традиционного, но он может быть познавательным и увлекательным.

ЛИТЕРАТУРА

1. 7 инсайтов о рынке онлайн-образования. Основные цифры, факты и выводы из исследования российского рынка образования. [Электронный ресурс]: https://dlog.edmarket.ru/7-insights-of-russian-e-learning. Доступ 03.02.2021.

2. Ициксон А. Устранение цифрового неравенства // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». – 2017. – № 11. – С. 156–164. [Электронный ресурс]: https://cyberleninka.ru/article/n/ustranenie-tsifrovogo-neravenstva. Доступ 03.02.2021.

3. Александрова Т. Цифровое неравенство регионов России: причины, оценка, способы преодоления // Journal of Economy and Business. – 2019. – № 8 – С. 9–12. [Электронный ресурс]: https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovoe-neravenstvo-regionov-rossii-prichiny-otsenka-sposoby-preodoleniya. Доступ 03.02.2021.

4. Цифровая грамотность россиян: исследование 2020. [Электронный ресурс]: https://nafi.ru/analytics/tsifrovaya-gramotnost-rossiyan-issledovanie-2020/. Доступ 03.02.2021.

5. Дьюи Дж., Дьюи Э. Школы будущего. – М.: Госиздат РФСР, 1922. – 179 с. [Электронный ресурс]: http://makarenko-museum.narod.ru/Classics/Dewey/Dewey_Schools_of_Future.htm. Доступ 03.02.2021.

6. Килпатрик У. Х. Метод проектов: Применение целевой установки в педагогическом процессе. – Л.: Брокгауз-Ефрон, 1925. – 43 с.

7. Шацкий С. Т. Избранные педагогические сочинения. – М.: Просвещение, 1980. – 718 с. [Электронный ресурс]: http://publ.lib.ru/ARCHIVES/SH/SHACKIY_Stanislav_Teofilovich/Shackiy_S.T._Izbrannye_pedagogicheskie_sochineniya_v_2_tt._T.1.(1980).[djv-fax].zip; http://publ.lib.ru/ARCHIVES/SH/SHACKIY_Stanislav_Teofilovich/Shackiy_S.T._Izbrannye_pedagogicheskie_sochineniya_v_2_tt._T.2.(1980).[djv-fax].zip. Доступ 03.02.2021.

8. Tkacheva T., Sazonova Z. Creativity Development as Indisputable Component of Long-life Education // Proc. of 2014 Int. Conf. on Interactive Collaborative Learning (ICL), Dubai, UAE, 2014, pp. 1026–1032. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/283842612_Creativity_development_as_indisputable_component_of_long-life_education. Доступ 19.03.2021. DOI: 10.1109/ICL.2014.7017923.

9. Попова С. Ю., Пронина С. Ю. Современные образовательные технологии. Кейс-стади. – М.: Юрайт, 2020. – 126 с. [Электронный ресурс]: https://conflictmanagement.ru/wp-content/uploads/2013/04/Keys-stadi.pdf. Доступ 03.02.2021.

10. Корнилов Ю. В., Левин И. П. Геймификация и веб-квесты: разработка и применение в образовательном процессе // Современные проблемы науки и образования. – 2017. – № 5. [Электронный ресурс]: http://science-education.ru/ru/article/view?id=26865. Доступ 03.02.2021.

11. Бабанская О. М., Можаева Г. В., Степаненко А. А., Фещенко А. В. Организация системы мониторинга электронного обучения в LMS MOODLE // Открытое и дистанционное образование. – 2016. – № 63. – С. 27–35. [Электронный ресурс]: http://journals.tsu.ru/ou/&journal_page=archive&id=1453&article_id=30076. Доступ 03.02.2021.

12. Антонова Д. А., Оспенникова Е. В., Спирин Е. В. Цифровая трансформация системы образования. Проектирование ресурсов для современной цифровой учебной среды как одно из её основных направлений // Вестник ПГГПУ. – 2018. – № 14. – С. 5–37. [Электронный ресурс]: https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-transformatsiya-sistemy-obrazovaniya-proektirovanie-resursov-dlya-sovremennoy-tsifrovoy-uchebnoy-sredy-kak-odno-iz-ee/pdf. Доступ 03.02.2021.

13. Применение виртуальных лабораторий в техническом образовании. [Электронный ресурс]: https://www.sunspire.ru/articles/part33/. Доступ 03.02.2021.

14. Смык А. Ф., Спиридонов А. А., Бахтина Е. Ю., Белкова Ю. А., Спиридонова Л. В. Информационная система МАДИ для обучения студентов (ИС МАДИ) // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2016618473–2016. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39351893. Доступ 03.02.2021.

15. Белкова Ю. А., Смык А. Ф., Ширина Т. А. Балльно-рейтинговая система оценки знаний студентов технического университета // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2015. – № 41 – С. 3–9. [Электронный ресурс]: https://moluch.ru/conf/ped/archive/190/10443/. Доступ 03.02.2021.

16. Ткачева Т. М., Смык А. Ф., Тимофеева Г. Ю. Физика и мультимедиа в учебном процессе технического университета 2017 // История и педагогика естествознания. – 2017. – № 3. – С. 17–21. [Электронный ресурс]: https://cyberleninka.ru/article/n/fizika-i-multimedia-v-uchebnom-protsesse-tehnicheskogo-universiteta/pdf. Доступ 03.02.2021.

17. Гусева Е. А., Смык А. Ф. Компьютерное тестирование для анализа качества обучения по физике 2017 // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2017. – № 14 (10). – С. 10. [Электронный ресурс]: https://www.adi-madi.ru/madi/article/viewFile/447/pdf_303.pdf. Доступ 03.02.2021.

18. Smyk, A. F., Tkacheva, T. M., Portnov, Yu. A. New digital technologies of training in the transport education. 2020 IOP Conf. Ser.: Materials Science and Engineering (IOP Publishing), 2020, pp. 832:012068. DOI: 10.1088/1757-899X/832/1/012068.

19. Li, C., Lalani, F. The COVID-19 pandemic has changed education forever. This is how. World Economic Forum Web-site, 29.04.2020 [Электронный ресурс]: https://www.weforum.org/agenda/2020/04/coronavirus-education-global-covid19-online-digital-learning/. Доступ 03.02.2021.

20. Chakraborty, P., Mittal, P., Gupta, M. S., Yadav, S., Arora, A. Opinion of students on online education during the COVID-19 pandemic. Human Behavior and Emerging Technologies, Vol. 3, Iss. 3, pp. 357–365. Published 17 December 2020. DOI: https://doi.org/10.1002/hbe2.240. Доступ 03.02.2021.

21. Dhawan, S. Online Learning: A Panacea in the Time of COVID-19 Crisis. Journal of Educational Technology Systems, 2020, Vol. 49, Iss. 1, pp. 5–22. DOI: https://doi.org/10.1177/0047239520934018. Доступ 03.02.2021.

22. Adedoyin, O. B., Soykan, E. Covid-19 pandemic and online learning: the challenges and opportunities. Interactive Learning Environments, 2020. Published online 02/09/2020. DOI: 10.1080/10494820.2020.1813180. Доступ 03.02.2021.

DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-230-245

Experience of Using Online Technologies in Transport Education







Alexandra F. SMYK **Tatyana M. TKACHEVA** **Galina Yu. TIMOFEEVA**

Smyk, Alexandra F., *Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Moscow, Russia.*
Tkacheva, Tatyana M., *Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Moscow, Russia.*
Timofeeva, Galina Yu., *Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Moscow, Russia*.*

ABSTRACT

The objective of this article is to identify pedagogical technologies traditionally used in full-time education, which found their place when educational formats changed in the era of digital transformation. The discussion concerns the project method, the case method, the analysis of the digital footprint, the use of game teaching methods, virtual laboratory work, various types of Internet testing, methods of collective search for a solution to the problem. The application of the considered methods in learning the Physics as a discipline at Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI) constituted the empirical basis of the study.

The design method turned to be the most effective and developed one. Its application made it possible to organise participation of students of 1–2 years of study in educational and research work under the guidance of lecturers who are related to physics and the chosen fields of training at MADI. It is shown that as a result, students acquire the skills to search and select the necessary information, learn to complete project work on time, prepare presentations, write scientific texts both for presenting them as oral reports and as texts of scientific articles. Possibilities of using electronic registers are described, in which both attendance at classes and performance of tasks are recorded, and the time factor (indication on whether the work was completed on time or was late) is considered. The article studies the use of a point-rating system to control current assignments, and also provides description of developments by the teaching staff of the department on organisation of an oral exam and test in physics in an online format.

Keywords: transport education, online education, digital educational platform, information technology, physics, experience, project method.

*Information about the authors:
Smyk, Alexandra F. – D.Sc. (Physics and Mathematics), Head of the Department of Physics of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia, ✉ afsmyk@mail.ru.
Tkacheva, Tatyana M. – Ph.D. (Physics and Mathematics), Associate Professor at the Department of Physics of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia, tatmihtka@rambler.ru.
Timofeeva, Galina Yu. – Ph.D. (Physics and Mathematics), Associate Professor at the Department of Physics of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia, galina.omega@gmail.com.

Article received 03.02.2021, accepted 26.02.2021.

For the original Russian text of the article please see p. 230.

BACKGROUND

The transition to the use of digital technologies in education is a process that fully reflects the modern trends in economics, particularly in transport. The topic is quite relevant and is of global character for the education. The Russia makes no exception. The adoption of digital technology for education has been discussed and prepared for several years.

Already in 2017, when adopting the Federal Law on Education in the Russian Federation as part of implementation of the National Education Project, the task was set to define such new professions for which knowledge of information technology is required. Obviously, such a task cannot be completed both without the use of information technologies in the course of training, either the knowledge of these technologies on the part of students. This is stipulated in the program on development of digital economy in the Russian Federation that «*...is aimed at creating conditions for development of a knowledge society in the Russian Federation, ... increasing awareness and digital literacy...*»[1].

Implementation of these regulations is impossible without increasing the level of digital knowledge among the population, the younger generation, graduates of secondary schools who after further study in higher schools or colleges become specialists. Accordingly, it became necessary to modernise educational programs at all levels of education and increase motivation of the population to master digital skills. Thus, having a legislative basis, since 2017, preparations have been under way for the transition of some of the educational processes to online forms. However, the thunder struck without warning: the coronavirus pandemic forced everyone to switch to the online educational process overnight, and this concerned each level from a comprehensive school, and colleges, to the universities.

This article was written after a rather long remote operation of the university. During this period, it was especially important not to lose students and their desire to learn, despite the new conditions.

The teachers have realised that distance education is a completely different technology. To master it, the very ideology of education should be changed. When the educational process takes place in a traditional format, the goals, forms, teaching methods are known in advance. In the distance mode, the teacher is faced with an abundance of electronic resources, on the one hand, and a lack of skills and methods of applying digital learning, on the other.

The *objective* of this article is to review the analysis of available pedagogical technologies that have been adapted for the online learning format. The empirical results obtained using these technologies at the Department of Physics of MADI both in full-time and online format prove their relevance and effectiveness.

MATERIALS AND METHODS

As it became clear from the results of the forced transition to distance learning mode, to improve its effectiveness, it is necessary to modernise the existing ones and to move to new pedagogical technologies. Methods of focusing and maintaining the attention of students in face-to-face classes are well known. These methods include a variety of problematic methods, including design method, modular method, case method, flip class methods, gamification, as well as methods of collective search for a solution, such as brainstorming. All these methods are used to one degree or another in the online learning format, and their effectiveness depends on all participants in the educational process. The method of project work and the case method can merge into one, the purpose of which is to awaken in students an interest not only in learning as such, but also in a creative way of studying sciences.

RESULTS

Some characteristics of the online learning format

Even before the COVID-19 attack, the market for annual online education services provided in the Russian Federation was estimated at 38,5 billion roubles. The forecast for the growth of this part of educational services was 12–15 % per year. It is clear that due to the coronavirus pandemic, the demand for online education services has skyrocketed – up to 100 % during self-isolation [1]. Time will show how long this demand will be at this level. However, we can already say that,

[1] Program «Digital Economy of the Russian Federation». Order of the Government of the Russian Federation dated July 28, 2017, No. 1632-r. [Electronic resource]: http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf. Last accessed 24.11.2020.

having experienced difficulties in using online learning, which affected both students and teachers, there are still some positive changes. For example, freeing up time for study or work by reducing the time needed to move from home to work (this is mainly relevant for residents of large cities). For working students (students of correspondence learning departments, mastering new professions without interrupting their work [blended education], corporate training), the online format is already in demand and is widely used.

Of course, the online format does not allow to learn communication, teamwork skills, it cannot socialise students since this is obtained through face-to-face interaction in teacher-to-student and student-to-student format. But at the same time, skills of working with digital technologies that are important for a modern person and to which the future belongs are developing. Modern students and, even more so, schoolchildren represent a generation that was born with gadgets in their hands. The use of a variety of programs is most quickly mastered by young people, despite some «general illiteracy»: they can not speak, write correctly, count in their head or even sum up the figures using a column count, but quickly and decisively accept all online transitions.

Digital inequality

To successfully master the online format, at least four conditions must be met:

- Digital equality.
- Digital literacy.
- Modernisation of the educational process.
- Analysis of the digital footprint of students.

Digital inequality refers to the lack of access to modern information technologies, which may manifest itself depending on remoteness of the considered region of any country from the capitals, as well as due to social inequality of the population due to the difference in income [2]. Social stratification in the Russian Federation is quite high since the income of the rich is 16 times higher than the income of the poor. The speed of connection to the Internet and the cost of 1 GB differs sharply in the metropolitan regions and on the periphery [3].

Digital literacy

Besides access to the Internet, digital literacy is essential for successful use of information technology. A person with digital literacy has the skills and abilities to use various gadgets with all possible applications – social networks, email, Skype, WhatsApp, Telegram and others, owns understanding and adheres to digital ethics and safety on the Internet, has understanding of the digital footprint (shadow), about cyberbullying and combating it. According to the National Agency for Financial Research (NAFI), in the first quarter of 2020, only 27 % of Russians had a high level of digital literacy [4]. The digital literacy index calculated by NAFI considered five components:

- Information literacy.
- Communication literacy.
- Digital content creation.
- Digital security.
- Skills of solving problems in a digital environment.

This index was equal to 58 out of 100 points.

Digital literacy is a concern not only in Russia, but also in the world. In 2018, in the materials of the summit of the heads of developed countries, the stated list of the most important and becoming fundamental competences comprised digital competence, which includes digital literacy, i.e., confident, informed and responsible use and interaction with digital technologies for learning, working and participating in society[2].

Despite the not very high rates of digital literacy among the population of the Russian Federation in general, both students, and university teachers, and schoolteachers, and the schoolchildren themselves, being forced to switch to the online format of the educational process, nevertheless fit into this format of the educational process, which is new for all participants. Most universities in the Russian Federation were able to solve this difficult task in a very short time – to organize universal online education.

Pedagogical technologies

Design method

John Dewey wrote in 1899 about the need to realise the influence of rapid changes in the world to formalise the new requirements of

[2] The leaders of the G-20 adopted the final declaration following the summit in Buenos Aires // Vedomosti. December 2, 2018 [Electronic resource]: https://www.vedomosti.ru/politics/news/2018/12/01/788103-lideri-g20-deklaratsiyu-buenos-airese. Last accessed 24.11.2020.

society to the level of personality development [5]. He also suggested using the project method in teaching. In the 20s of 20th century, this method began to be used in the educational process as applied to school education. This method was actively developed by W. H. Kilpatrick [6] and colleagues. These teachers believed that the united work of students, caused by interest in the topic of the project, becomes not only part of independent work, but also, contributing to the emergence of new knowledge, develops the intellectual abilities of students.

In the wake of the work of D. Dewey and W. Kilpatrick, at the beginning of 20th century, this method was tried in the Soviet school [7]. It was believed that the joint work of students and a teacher with involvement of practical developments allows teachers and students to interact and communicate in a new way, which turns the school into a forge of «future builders of a new life». S. T. Shatskiy wrote that a close connection between the educational process and practical real work will instil the desire and ability to work [7]. They tried to provide this relationship both with study and project work in teams, in which sometimes one was responsible for all participants. However, the hypertrophied enthusiasm for project work with the refusal to study traditional disciplines led to a decrease in students' knowledge. Later, project work as a pedagogical technology was forgotten[3].

Currently, teachers have returned to the search for development of students' abilities through the use of the project method in both secondary and high school. Creative pedagogy has attracted the attention of many domestic teachers and researchers who have developed and continue to develop pedagogical technologies, and the philosophical understanding of this phenomenon, and the psychological aspects of creativity [8].

The design method summarises several important ways to get something new at once. As is well known, all the points of activity required for implementation of a project combine creative, analytical, information and communicative competences. Starting with the choice of a project topic, it is necessary to find, analyse and select the information you need. Then, develop a plan suitable for implementation of the project, considering the time required for each stage, distribute responsibilities between the participants (which gives the right to call the project work a kind of role-playing game), complete the project, take stock and analyse them. This type of educational process for junior university courses is possible only with the participation of a teacher. And we immediately recall the provisions of the pedagogical theory developed by S. T. Shatskiy: «*... the concept of a reasonable school can be as follows: a school is a place where the results of one's personal experience are processed, systematized and brought into connection with the results of someone else's. Thus, the possibility of lively and important mental activity is created, natural forces are developed and exercised*» [7, pp. 20–21].

Case method

This method involves the search for options for solving a problem situation, preferably a real one. Cases can be different in terms of problems and purpose. Among them, one can single out those that are important for the educational process: these are training and research cases. Both of them allow you to get and use the skills of searching and analysing information, options for solving a problem, evaluating the solution. Working through a case allows you to learn not only to hear a teammate, but also to listen to him, allows you to learn how to work in a team. With these characteristics, the case method is somewhat close to the design method [9]. The difference is that the design method is closer to doing real work, often ready for implementation, while the case method may contain educational problems, the solution of which is important for understanding a specific section of the discipline being studied.

The case method is implemented not only in written work, but also includes discussion of the proposed solutions by team members, which allows them to learn to formulate, express and defend their point of view. A correctly executed case allows you to feel responsibility for the decision made, for its implementation. All this, in general, increases motivation to study. The problems solved by

[3] By the decree of the Central Committee of the All-Union Communist Party of Bolsheviks on primary and secondary schools (Appendix No. 5 to clause 31 of pr. PB No. 58 of August 25, 1931), the project method was prohibited. [Electronic resource]: https://istmat.info/node/53561. Last accessed 24.11.2020.

the case method, ideally, should be a kind of puzzle, a situation with internal intrigue, and the solution should provide an opportunity for setting new tasks in the future.

Gamification

To create a learning game, you can use someone else's experience and repeat some techniques [10]. Most games include a tiered order with a bonus or some other benefit for the player who participates in the game and completes the task of the level. If the task is not completed, then the participant is again at the beginning of the unfulfilled level. And this happens at every level. During the game, skills are formed imperceptibly for the participant, and training takes place in the format chosen by the creator of the game. As a bonus, the participant can receive additional points, for example, during the game against the clock, if he met the scheduled time or completed the task ahead of schedule.

A participant in the game block, while completing tasks, simultaneously competes with other participants. The published results can reveal the rating of a given participant, which is an additional incentive to complete all tasks quickly and successfully. The Moodle platform allows you to identify such a rating within any assignment and contains various options for assessing knowledge: you can create any tests, conduct any polls, set the writing of an essay or review. For each task, you can set a time frame: days of the week or months for the task, as well as determine the time for completing each part of the task – in minutes or in some other way. The account of the execution time and the number of attempts can also be presented in the rating [11].

Analysis of the digital footprint of students

A digital footprint or shadow is the information that remains when using the Internet in any form: viewing materials, completing educational assignments, participating in social networks, both passive (viewing only) and active (posts and comments), as well as participation in interest groups and a choice of friends. As already discussed above, the Moodle platform allows you to use game methods, as well as to identify the digital footprint of students when completing assignments [11]. Completing assignments on the Microsoft Teams platform also allows you to analyse a student's digital footprint.

The digital footprint is the data of the rating system obtained from the results of the student's performance of tasks, as well as those additional actions of the student during training, which are reports and presentations at conferences or during implementation of course and diploma projects. Thus, a well-established system for recording and analysing a student's digital footprint can tell about his development, about his capabilities and actions during the educational process (and not only in his extra-curricular life). This system can help to find an individual trajectory for training of each given student, as well as prompt the teacher about the necessary changes in this curriculum and tasks to check its mastery.

Virtual laboratory

For more than a year, virtual laboratory work has been used in secondary schools, for example, «Virtual laboratory work in physics» by Project-Service and by Fascinating Reality. However, in connection with the transition to the online format of education, the question arose about virtual laboratory work in higher education. Teachers from different universities are involved in development of a virtual workshop [12; 13], but, unfortunately, the market economy dictates its own terms, and it is possible to use the developments of other universities only by concluding agreements with a certain payment. Therefore, many universities have to manage on their own. Perhaps this is a very good experience, but the training process does not always go quickly and without additional obstacles.

Experience of using online pedagogical technologies

Projects and cases

With the beginning of the distance learning format, the lecturers of the department of physics began to create online courses in physics, test assignments using digital platforms Microsoft Teams and Moodle, and create a virtual physics workshop. But it should be noted that many of the pedagogical technologies mentioned above were used in full-time education. The project method has been in demand when working with learners for many years. In the last five years alone, the department has completed more than 70 projects in physics, mainly by sophomore students, and 68 projects in the discipline «Physical foundations of microelectronics». Some of these projects can



today be equated to cases, moreover, to training cases, since they turned out to be complete in terms of presentation of the topic.

For example, projects related to real life in MADI: a study of illumination of corridors and classrooms, a study of the dependence of the amount of carbon dioxide in classrooms on the time of the lesson. The materials of the project for the study of errors of video cameras, speedometers and a navigator allow drivers to quickly orient themselves on the road, where, as you know, it is necessary to choose the right speed mode. The study of the effect of wheel balancing on vehicle handling is directly related to road safety. Traffic safety is also associated with projects to study recuperation of vehicle braking energy, to find physical methods of dealing with noise and vibration in a car, to experimentally compare the noise characteristics of a vehicle on studded and non-studded rubber, to practically study the formation of a profile of a «comb» type road surface, according to considering the effect of studded tires on road wear.

Research projects, which can be considered as cases too, represent the results of scientific work of students carried out under the guidance of teachers of the department, for example, «Study of microwave radiation and high-voltage electric arc in different ignition conditions», «Experimental determination of the physical and mechanical characteristics of a car» or «Study of the properties of dilatant fluids and their application in the development of artificial irregularities».

Projects in the discipline «Physical foundations of microelectronics» contained information on the methods of growing and subsequent processing of silicon monocrystals – the main material of microelectronics, on new developments of international corporations producing microelectronic products, on information storage devices, on photoelectric converters as a local power plant.

At the department of physics of MADI, the results of the project work of first- and second-year students are presented in the form of reports at the annual student scientific and methodological conference and in articles written jointly by teachers and students.

Students participate in international competitions of student projects:

• International competition of university groups Best University Group (Stage: specialty. Nomination: scientific work. Direction: physical and mathematical sciences. Form: report on research work).

• International competition of students and teachers of professional educational institutions Professional Stars (Stage: specialty. Nomination: scientific work. Direction: physical and mathematical sciences. Form of the competition project: report).

• International championship «Quality of education» (Stage: specialty. Nomination: scientific work. Direction: physical and mathematical sciences. Form of the competition project: report).

In all these competitions, MADI students won prizes with the presentation of certificates.

Based on the results of project activities for 2018–2020, teachers, together with university students, published more than 15 articles in

Automobile. Road. Infrastructure, the electronic journal of MADI and in other editions.

Game methods

The use of game techniques has found application in creation of an educational information system («IS-MADI physics»), due to which the student learns and at the same time performs tasks, participating in the rating system for assessing his knowledge. The information system is built like a multilevel game. Performing a low complexity level allows you to move to the next more difficult level, and so on, until the result is achieved – a solution to a problem of increased complexity. If during the passage of any level mistakes are made, then the program throws the student to a lower level, and he must pass this level again. A student can find all the necessary methodological materials for performing tasks in «IS-MADI Physics» in electronic form within this system itself – lectures, presentations of materials, reference tables [14].

Digital footprint analysis

During their work in the online format, teachers began to use the Internet more actively to analyse the effectiveness of students' academic work. On the Microsoft Teams platform, all the achievements of students are recorded in electronic journals, which are built considering the experience of long-term use of the point-rating system in full-time education [15].

The digital footprint of students' activity on the Microsoft Teams platform represents all students' answers to control questions in lectures, solving problems on the current material, tests, as well as the results of using IS-MADI Physics information system [16]. Undergraduate students, studying physics, undergo various types of Internet testing (from input to residual knowledge) using software created at MADI [17]. The digital footprint of students' activity on the Moodle platform presents test results in all areas of physics studied at MADI, as well as the results of assignments [18].

Laboratory workshop

One of the important parts of studying physics at a technical university is a laboratory workshop. During the transition to the online format, it was necessary to transfer the existing laboratory practice to the virtual execution mode. Currently, in the current sections of physics, the department is fully equipped with virtual laboratory works, which include methodological and video materials, as well as measurement results generated individually for each student. Work on creation of new laboratory work continues.

Exam online

The practice of conducting intermediate attestation of students in the form of a written exam in the context of online learning, which was used in full-time training, has become impossible. The need to control the student's behavior during the exam and the objectivity of assessing the competencies formed as a result of mastering the discipline led to the use of the oral form of examinations and tests. The oral format of the exam turned out to be truly oral: individual tickets were created, which contained questions and tasks that allowed assessing the level of development by various indicators – to know, to be able to, to own. The student received the exam ticket under the webcam, no more than five minutes were given to study the questions, and then the student began to answer. The results of distance exams have yet to be comprehended and the best methods for their implementation have to be developed. A simple comparison of the results of exams in full-time and distance forms showed that the number of unsatisfactory marks received by students is significantly less in the online format.

CONCLUSIONS

Despite the urgency and unexpectedness of introduction of the online format for students of all forms of education, the experience of teaching the physics discipline at the transport university has shown the possibilities of using well-known and regularly used methods in full-time format, as well as involving new methods and techniques in the educational process. Modern digital technologies make it possible to interest the remote student, to keep his attention, to motivate him to master the educational material. This is witnessed by very first research publications dedicated to the analysis of the results of the forced and accelerated transition to online learning (e.g., [19–22]. Online learning is a different process than traditional learning, but it can be rewarding and fun.

REFERENCES

1. 7 insights about the online education market. Key figures, facts and conclusions from the study of the Russian education market [*7 insaitov o rynke onlain-obrazovaniya. Osnovnie tsifry, fakty i vyvody iz issledovaniya rossiiskogo rynka obrazovaniya*]. [Electronic resource]: https://dlog.edmarket.ru/7-insights-of-russian-e-learning. Last accessed 03.02.2021.

2. Itsikson, A. Elimination of digital inequality [*Ustranenie tsifrovogo neravenstva*]. *Vestnik SUSU. Series «Economics and Management»*, 2017, Iss. 11, pp. 156–164. [Electronic resource]: https://cyberleninka.ru/article/n/ustranenie-tsifrovogo-neravenstva. Last accessed 03.02.2021.

3. Aleksandrova, T. Digital inequality of Russian regions: reasons, assessment, ways to overcome [*Tsifrovoe neravenstvo regionov Rossii: prichiny, otsenka, sposoby preodoleniya*]. *Journal of Economy and Business,* 2019, Iss. 8, pp. 9–12. [Electronic resource]: https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovoe-neravenstvo-regionov-rossii-prichiny-otsenka-sposoby-preodoleniya. Last accessed 03.02.2021.

4. Digital literacy of Russians: research 2020 [*Tsifrovaya gramotnost' rossiyan: issledovanie 2020*]. [Electronic resource]: https://nafi.ru/analytics/tsifrovaya-gramotnost-rossiyan-issledovanie-2020/. Last accessed 03.02.2021.

5. Dewey J., Dewey, E. Schools of the future. Moscow, Gosizdat RFSR publ., 1922, 179 p. [Electronic resource]: http://makarenko-museum.narod.ru/Classics/Dewey/Dewey_Schools_of_Future.htm. Last accessed 03.02.2021.

6. Kilpatrick, W. H. Design Method: Application of the Target Attitude in the Pedagogical Process. Leningrad, Brockhaus-Efron, 1925, 43 p.

7. Shatskiy, S. T. Selected pedagogical works [*Izbrannie pedagogicheskie sochineniya*]. Moscow, Prosveshchenie publ., 1980, 718 p. [Electronic resource]: http://publ.lib.ru/ARCHIVES/SH/SHACKIY_Stanislav_Teofilovich/Shackiy_S.T._Izbrannye_pedagogicheskie_sochineniya_v_2_tt._T.1.(1980).[djv-fax].zip и http://publ.lib.ru/ARCHIVES/SH/SHACKIY_Stanislav_Teofilovich/Shackiy_S.T._Izbrannye_pedagogicheskie_sochineniya_v_2_tt._T.2.(1980).[djv-fax].zip. Last accessed 03.02.2021.

8. Tkacheva, T., Sazonova, Z. Creativity Development as Indisputable Component of Long-life Education. Proc. of 2014 Int. Conf. on Interactive Collaborative Learning (ICL), Dubai, UAE, 2014, pp. 1026–1032. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/283842612_Creativity_development_as_indisputable_component_of_long-life_education. Last accessed 19.03.2021. DOI: 10.1109/ICL.2014.7017923.

9. Popova, S. Yu., Pronina, S. Yu. Modern educational technologies. Case study [*Sovremennie obrazovatelnie tekhnologii. Keis-stadi*]. Moscow, Yurayt publ., 2020, 126 p. [Electronic resource]: https://conflictmanagement.ru/wp-content/uploads/2013/04/Keys-stadi.pdf. Last accessed 03.02.2021.

10. Kornilov, Yu. V., Levin, I. P. Gamification and web quests: development and application in the educational process [*Geimifikatsiya i veb-kvesty: razrabotka i primenenie v obrazovatelnom protsesse*]. *Sovremennie problemy nauki i obrazovaniya*, 2017, Iss. 5. [Electronic resource]: http://science-education.ru/ru/article/view?id=26865. Last accessed 03.02.2021.

11. Babanskaya, O. M., Mozhaeva, G. V., Stepanenko, A. A., Feshchenko, A. V. Organization of the monitoring system for e-learning in LMS MOODLE [*Organizatsiya sistemy monitoringa elektronnogo obucheniya v LMS MOODLE*]. *Otkrytoe i distantsionnoe obrazovanie*, 2016, Iss. 63, pp. 27–35. [Electronic resource]: http://journals.tsu.ru/ou/&journal_page=archive&id=1453&article_id=30076. Last accessed 03.02.2021.

12. Antonova, D. A., Ospennikova, E. V., Spirin, E. V. Digital transformation of the education system. Designing resources for a modern digital learning environment as one of its main directions [*Tsifrovaya transformatsiya sistemy obrazovaniya. Proektirovanie resursov dlya sovremennoi tsifrovoi uchebnoi sredy kak odno iz ee osnovnykh napravlenii*]. *Vestnik PGSPU*, 2018, Iss. 14, pp. 5–37. [Electronic resource]: https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-transformatsiya-sistemy-obrazovaniya-proektirovanie-resursov-dlya-sovremennoy-tsifrovoy-uchebnoy-sredy-kak-odno-iz-ee/pdf. Last accessed 03.02.2021.

13. Application of virtual laboratories in technical education [*Primenenie virtualnykh laboratorii v tekhnicheskom obrazovanii*]. [Electronic resource]: https://www.sunspire.ru/articles/part33/. Last accessed 03.02.2021.

14. Smyk, A. F., Spiridonov, A. A., Bakhtina, E. Yu., Belkova, Yu. A., Spiridonova, L. V. Information system of MADI for teaching students (IS MADI) [*Informatsionnaya sistema MADI dlya obucheniya studentov (IS MADI)*] // Certificate of registration of a computer program RU 2016618473-2016. [Electronic resource]: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39351893. Last accessed 03.02.2021.

15. Belkova, Yu. A., Smyk, A. F., Shirina, T. A. Point-rating system for assessing the knowledge of students of a technical university [*Ballno-reitingovaya sistema otsenki znanii studentov tekhnicheskogo universiteta*]. *Bulletin of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)*, 2015, Iss. 41, pp. 3–9. [Electronic resource]: https://moluch.ru/conf/ped/archive/190/10443/. Last accessed 03.02.2021.

16. Tkacheva, T. M., Smyk, A. F., Timofeeva, G. Yu. Physics and multimedia in the educational process of a technical university 2017 [*Fizika i multimedia v uchebnom protsesse tekhnicheskogo universiteta*]. *History and pedagogy of natural science*, 2017, Iss. 3, pp. 17–21. [Electronic resource]: https://cyberleninka.ru/article/n/fizika-i-multimedia-v-uchebnom-protsesse-tehnicheskogo-universiteta/pdf. Last accessed 03.02.2021.

17. Guseva, E. A., Smyk, A. F. Computer testing to analyze quality of teaching in physics 2017 [*Kompyuternoe testirovanie dlya analiza kachestva obucheniya po fizike 2017*]. *Automobile. Road. Infrastructure*, 2017, Iss. 14 (10), p. 10. [Electronic resource]: https://www.adi-madi.ru/madi/article/viewFile/447/pdf_303.pdf. Last accessed 03.02.2021.

18. Smyk, A. F., Tkacheva, T. M., Portnov, Yu. A. New digital technologies of training in the transport education. 2020 IOP Conf. Ser.: Materials Science and Engineering (IOP Publishing), 2020, pp. 832:012068. DOI: 10.1088/1757-899X/832/1/012068.

19. Li, C., Lalani, F. The COVID-19 pandemic has changed education forever. This is how. World Economic Forum Web-site, 29.04.2020 [Electronic resource]: https://www.weforum.org/agenda/2020/04/coronavirus-education-global-covid19-online-digital-learning/. Last accessed 03.02.2021.

20. Chakraborty, P., Mittal, P., Gupta, M. S., Yadav, S., Arora, A. Opinion of students on online education during the COVID-19 pandemic. *Human Behavior and Emerging Technologies*, Vol. 3, Iss. 3, pp. 357–365. Published 17 December 2020. DOI: https://doi.org/10.1002/hbe2.240. Last accessed 03.02.2021.

21. Dhawan, S. Online Learning: A Panacea in the Time of COVID-19 Crisis. *Journal of Educational Technology Systems*, 2020, Vol. 49, Iss. 1, pp. 5–22. DOI: https://doi.org/10.1177/0047239520934018. Last accessed 03.02.2021.

22. Adedoyin, O. B., Soykan, E. Covid-19 pandemic and online learning: the challenges and opportunities. Interactive Learning Environments, 2020. Published online 02.09.2020. DOI: 10.1080/10494820.2020.1813180. Last accessed 03.02.2021.

УДК 316.354.4:656.2
DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-246-258

Волонтёрская помощь инвалидам и маломобильным гражданам в образовательных организациях высшего образования транспортной отрасли



Надежда ГРУВЕР



Ольга ЗЕМЛИНА



Регина НАЗАРОВА

Грувер Надежда Всеволодовна *– Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия.*
Землина Ольга Михайловна *– Российский университет транспорта, Москва, Россия.*
Назарова Регина Константиновна *– Российский университет транспорта, Москва, Россия*.*

С применением методов системно-правового подхода и социологических инструментов рассматриваются актуальные вопросы вовлечения в волонтёрскую деятельность студентов транспортных вузов (на примере Российского университета транспорта), организации работы по их привлечению к оказанию помощи инвалидам и маломобильным гражданам на транспорте.

Цель исследования – изучить влияние организации волонтёрского движения на решение задач деятельности университета и реализацию мотивации обучающихся, в том числе с учётом достижения целей устойчивого развития.

Существенное внимание уделено анализу механизма и способов реализации потенциала волонтёрского движения с точки зрения возможностей формирования у студентов социально-значимых качеств, ценностных ориентаций, соответствующих потребностям общества и развития транспортного комплекса, навыков правокультурного поведения будущих специалистов транспорта. В статье обосновывается вывод о необходимости использования возможностей волонтёрства в качестве средства саморазвития личности обучающегося.

Изучены опыт работы созданного и действующего на базе Российского университета транспорта Ресурсного учебно-методического центра по обучению инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, направления повышения эффективности деятельности по созданию условий доступности высшего образования для лиц с ограниченными возможностями здоровья в транспортных вузах.

Социологический анализ позволил выявить и оценить корреляцию мотивации и заинтересованности участников волонтёрского движения в обучении по реализуемым в Российском университете транспорта программам и участии в волонтёрском движении, так как среди побудительных мотивов обучающихся наиболее значимыми и распространёнными являются желание помогать людям чувствовать себя нужными, а также стремление к освоению новых навыков и приобретению умений.

Ключевые слова: транспортное образование, волонтёрство, саморазвитие личности, ресурсный центр, помощь инвалидам и маломобильным гражданам, транспорт, мобильность, молодёжное движение, устойчивое развитие.

---

*Информация об авторах:
Грувер Надежда Всеволодовна – заведующий отделом магистратуры Института законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия, gruver511@mail.ru.
Землина Ольга Михайловна – кандидат юридических наук, доцент кафедры транспортного права Юридического института Российского университета транспорта, Москва, Россия, zemlin.aldr@yandex.ru.
Назарова Регина Константиновна – специалист Ресурсного учебно-методического центра по обучению инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья Российского университета транспорта, Москва, Россия, ✉ regina-nazarova@rambler.ru.

Статья поступила в редакцию 10.12.2020, актуализирована 05.02.2021, принята к публикации 26.02.2021.

For the English text of the article please see p. 253.

ВВЕДЕНИЕ

Цели устойчивого развития ООН и деятельность университетов

В контексте современного развития образования в мире особое значение приобретает вклад высших учебных заведений в достижение целей устойчивого развития. При этом задача является комплексной. Среди целей устойчивого развития ООН присутствует как прямо относящаяся к развитию образования цель 4, предусматривающая «обеспечение всеохватного и справедливого качественного образования и поощрение возможностей обучения на протяжении всей жизни для всех»[1], так и целый ряд иных, в достижение которых университет и как крупная организация, и как социальный институт может внести свой специфический вклад. Показателен в этой связи появившийся относительно недавно в системе рейтингов Times Higher Education рейтинг влияния университетов. Его индикаторы отражают различные стороны деятельности университетов, соответствующие задачам в рамках целей устойчивого развития ООН. Среди них, например, есть индикатор 10 (борьба с неравенством), в числе отдельных показателей которого доля инвалидов среди обучающихся, создание для них доступной инфраструктуры, системы помощи[2]. Другое ведущее мировое рейтинговое агентство QS Quacquarelli Symonds публикует на эту тему специальные обзорные материалы.

Существует и весьма обширный пласт научной литературы, в котором отражены различные аспекты понимания вклада университетов в достижение устойчивого развития и компонентов устойчивого развития самих университетов. Не ставя задачи в данной статье провести сколько-нибудь подробный обзор подобных публикаций, можно исключительно в качестве примера отметить разнообразие затрагиваемых в них аспектов. Это – общие подходы к концепции устойчивого университета [1–2], системная связь устойчивого развития с повышением качества обучения [3], система показателей [4], а также большое число более специфичных подходов, например, обеспечение устойчивой мобильности в университетских кампусах [5]. Большинство указанных подходов, построенных во многом на обобщающих характеристиках университетов и на отдельных удачных ситуативных решениях, заслуживают внимания и адаптации.

Существенное значение имеют вопросы использования интеграционного потенциала волонтёрской деятельности в образовательной среде в процессе профессиональной подготовки студентов в образовательных организациях, что предопределило интерес целого ряда авторов к указанной проблеме [6–7; 8, с. 49–57].

Применительно к сфере транспортного права особый интерес у учёных вызывают такие аспекты, как обеспечение транспортной безопасности [9–11], формирование правовой культуры и профессиональной компетенции у специалистов на транспорте [12, с. 4961–4965; 13, с. 403–411], а также помощи инвалидам и маломобильным гражданам на транспорте [7; 14], в том числе с привлечением волонтёров из числа студентов. В этом ракурсе особый интерес вызывает монография, созданная с участием представителей научной школы «Транспортное право», авторы которой подготовили, научно обосновали и осуществили экспериментальную проверку спроектированной модели процесса реализации интеграционного потенциала волонтёрской деятельности, вкупе с определением организационно-педагогических условий её успешного функционирования в образовательной среде вуза [7, с. 8–9].

Постановка задач и цель исследования

В свете этого представляется целесообразным проанализировать достаточно уникальный опыт, сложившийся в Российском университете транспорта в отношении, во-первых, создания равных условий для доступа к образованию инвалидов и маломобильных граждан, а, во-вторых, – рассмотреть специфику университета, обусловливающую волонтёрскую деятельность студентов на этом направлении вне университета. При этом важно показать, что такого рода деятельность органично вписывается в учебный процесс, способствуя повышению качества получаемого образования.

Комплексность такого подхода обусловлена спецификой профиля университета. В сложившейся в России системе высшего образования успешно действуют университеты, имеющие отраслевую специфику и готовящие специалистов для системы здравоохранения, сельского хозяйства, органов суда и прокуратуры. Российский университет

[1] Цели устойчивого развития ООН. Цель 4. [Электронный ресурс]: https://sdgs.un.org/ru/goals/goal4. Доступ 05.02.2021.

[2] Методология рейтинга влияния THE. [Электронный ресурс]: https://www.timeshighereducation.com/impact-rankings-2021-reduced-inequalities-sdg-10-methodology. Доступ 05.02.2021.

транспорта – ведущий вуз по подготовке специалистов для транспортной отрасли. Это предопределяет и его нацеленность на решение задач, связанных с местом будущего трудоустройства – транспортной отраслью. Задача обеспечения доступа маломобильных граждан и инвалидов к транспортным услугам – одна из важнейших с социальной точки зрения для транспортной отрасли. В статье целесообразно проанализировать, насколько будущие работники транспорта, призванные решать её в дальнейшем в профессиональном качестве, мотивированы к участию в её решении уже в ходе обучения, в том числе на основе волонтёрской деятельности. В обобщённом виде *цель* исследования – изучить влияние организации волонтёрского движения на решение задач деятельности университета и реализацию мотивации обучающихся, в том числе с учётом достижения целей устойчивого развития.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Волонтёрское движение и социальная поддержка инвалидов

Вполне обоснованно отмечается, что «добровольческая деятельность (волонтёрское движение) – неотъемлемый элемент современного общества, поскольку в самом общем виде является безвозмездной деятельностью, направленной на служение людям, обществу, государству. В условиях, когда государственные органы не в состоянии самостоятельно справиться с социальными проблемами в условиях увеличения числа нуждающихся в социальной помощи, возрастает роль благотворительной деятельности» [14, с. 6].

В процессе волонтёрской деятельности человек совершенствуется нравственно, учится общению, взаимодействию, сотрудничеству и гуманности. Так как волонтёрская деятельность носит активный и творческий характер, молодёжь получает возможность проявить себя, помогает сформировать отношение к происходящему вокруг, в том числе в политической жизни, выработать активную гражданскую позицию. Серьёзной проблемой социальной защищённости молодёжи остаётся проблема молодых инвалидов, семей с инвалидами.

Очевидно, что социальная поддержка инвалидов, малообеспеченных, безработных, несомненно, является гуманной и общественно значимой. В связи с этим благотворительными организациями проводятся различные мероприятия, направленные на оказание материальной помощи, медицинской и социальной реабилитации малообеспеченных, безработных, лиц, нуждающихся в попечении, как разового (благотворительные акции, праздники, торжества), так и постоянного характера (организация благотворительных столовых для многодетных, неполных семей, мест для временного пребывания лиц, не имеющих жилья, организация детских летних лагерей, санаториев и т. п.). Организуется проведение научных исследований проблем экологии, реализация специальных программ по предотвращению стихийных бедствий и различных видов катастроф, создание лабораторий по изучению природных явлений. Осуществляется сбор средств лицам, пострадавшим от катастроф и стихийных бедствий, обеспечение медицинской, психологической помощи, одеждой, продовольствием, трудовыми местами и т. п. [15].

На сегодняшний день в России насчитывается 10 млн инвалидов (около 7 % населения). Среди них очень много молодых людей и детей. Наряду с ростом численности инвалидов прослеживаются тенденции качественных изменений их состава. В обществе вызывает озабоченность увеличение числа инвалидов среди лиц трудоспособного возраста, они составляют 45 % от числа первично признанных инвалидами граждан. Вызывает тревогу и то, что, по информации Министерства здравоохранения РФ, ежегодно в России рождается 50 тыс. детей – инвалидов с детства. В последние годы наблюдается увеличение численности инвалидов вследствие военной травмы. Инвалиды и семьи, имеющие в своём составе инвалидов (наличие инвалида в семье резко снижает её жизненный уровень), относятся в нашей стране к одной из наиболее депривированных социальных групп [6].

Вполне очевидно, что вопросы волонтёрской деятельности, степени эффективности её организации и взаимодействия волонтёрских организаций с органами управления приобрели особую актуальность в условиях возникновения угрозы распространения новой коронавирусной инфекции (COVID-19), детерминировавшей необходимость принятия особо жёстких управленческих мер с использованием методов и средств публично-правового регулирования. Опыт работы транспорта в условиях сложной эпидемиологической обстановки показывает особое значение чёткой организации системы органов государственного управления [16], взаимодействия их с благотворительными организациями, участия волонтёров в оказании

помощи категориям маломобильных граждан в условиях неизбежного введения ограничений передвижения физических лиц [17].

Следует отметить, что Российская Федерация является участником конвенции Организации Объединённых Нации о правах инвалидов и обязана обеспечить доступность студентов-инвалидов к высшему образованию. Организация сети ресурсно-методических центров по обучению инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья (РУМЦ) на базе российских университетов является следствием выполнения обязательств, взятых Российской Федерацией в связи с подписанием в 2006 и ратификации в 2008 году Конвенции Организации Объединённых Нации «О правах инвалидов». В России, как в стране-участнике Конвенции, должны быть созданы необходимые условия для устранения любых препятствий для людей с ограниченными возможностями здоровья для обеспечения их права на получение образования и образовательных услуг на всех уровнях [18].

Ресурсный учебно-методический центр

На базе Российского университета транспорта функционирует Ресурсный учебно-методический центр по обучению инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья (РУМЦ), который обеспечивает создание специальных условий доступности высшего образования для лиц с ограниченными возможностями здоровья, в том числе социокультурную реабилитацию и содействие в трудоустройстве выпускников.

В Российской Федерации программа по созданию РУМЦ на базе университетов, как указывалось выше, была запущена в 2016 году. РУМЦ создан как структурное подразделение вуза с целью решения задачи по координации, методической, кадровой и организационной поддержке, образовательного процесса для людей с инвалидностью и ОВЗ[3]. Согласно положению, РУМЦ является базовой структурой, поддерживающей развитие компетенций в области обучения студентов с инвалидностью, в том числе по адаптированным образовательным программам и располагает модельными образами создания специальных образовательных условий для оказания образовательных услуг высшего образования для студентов с инвалидностью различных нозологических групп.

[3] Ресурсный учебно-методический центр по обучению инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья. [Электронный ресурс]: https://www.miit.ru/depts/26244. Доступ 05.02.2021.

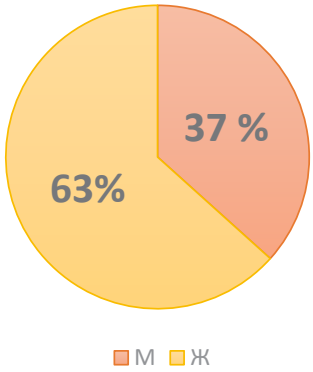


Рис. 1. Гендерное распределение волонтёров-респондентов.

Основными видами деятельности РУМЦ являются:

- мониторинг деятельности профессиональных образовательных организаций и образовательных организаций высшего образования по вопросам приёма инвалидов, обучения студентов с инвалидностью и создания для студентов с инвалидностью специальных условий для получения образования, трудоустройства;
- проведение семинаров (вебинаров) для педагогических работников и родителей по вопросам профессиональной ориентации и получения услуг среднего профессионального и высшего образования для обучающихся с инвалидностью и ОВЗ;
- разработка требований к условиям получения высшего образования лицами с инвалидностью и ОВЗ с учётом различных нозологических групп;
- разработка требований к оказанию образовательных услуг по получению среднего профессионального образования лицами с инвалидностью и ОВЗ с учётом различных нозологических групп;
- создание в информационно-телекоммуникационной сети Интернет-сайтов, обеспечивающих информационную поддержку возможностей получения образовательных услуг среднего профессионального, высшего образования и профессионального обучения в Российской Федерации для обучающихся с инвалидностью и ОВЗ.

Волонтёрство: социологическое исследование

Отдельно следует отметить, что на базе РУМЦ проводилось обучение волонтёров из числа обучающихся транспортных вузов навыкам оказания ситуационной помощи студентам с инвалидностью.

В процессе обучения в РУМЦ студенты осваивали этику общения и основные приёмы оказания ситуационной помощи студен-

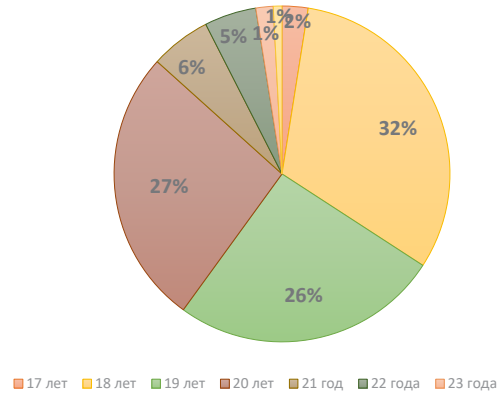


Рис. 2. Распределение респондентов по возрастным группам.

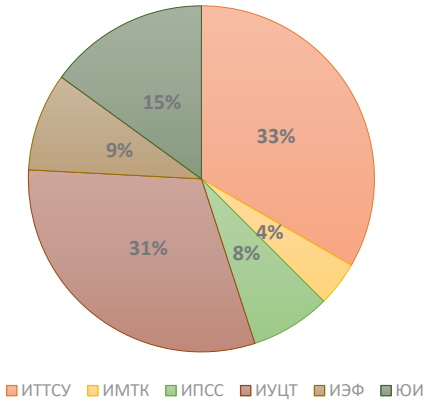


Рис. 3. Распределение волонтёров-респондентов по институтам университета.

там с инвалидностью с учётом различных нозологий, учились использовать специальное ассистивное оборудование и технические устройства. Это имеет не менее важное значение, чем обеспечение инфраструктурных условий [19]. Большое внимание уделялось правилам взаимодействия со студентами с инвалидностью и обеспечению техники безопасности при оказании помощи.

В целях осмысления исходных посылок и конечных результатов по подготовке волонтёров, а также выявления мотивов личной заинтересованности студентов в обучении, было осуществлено социологическое исследование в целях анализа направлений формирования «образа» волонтёра. В качестве объекта исследования была взята выборка из числа студентов Российского университета транспорта, проходивших в 2020 году обучение на базе РУМЦ по программам (темам): «Введение в оказание ситуационной помощи людям с инвалидностью», «Этика общения с различными категориями лиц с ограниченными возможностями здоровья», «Потребности различных категорий лиц с ограниченными возможностями здоровья в ситуационной помощи». Всего было проанализировано мнение 120 человек из числа волонтёров Российского университета транспорта в возрасте от 17 до 29 лет. Все участники опроса были поделены на четыре статусные группы: студенты бакалавриата, специалитета, магистратуры и аспирантуры. При этом следует отметить, что обучение на волонтёров проходят преимущественно девушки (63 % из общего числа опрошенных, рис. 1).

На рис. 2 представлены основные параметры исследуемой общности исходя из возрастных показателей, показывающие, что 85 %из общего числа опрошенных составили молодые люди в возрасте 18–20 лет.

На рис. 3 представлены результаты обработки данных выборки респондентов по профессиональным группам. Исходя из того, что все волонтёры являлись студентами Российского университета транспорта, верифицируемым и показательным критерием являлась принадлежность к одному из 6 наиболее крупных по контингенту обучающихся институтов Университета, каждый из которых имеют свою специализацию. Первичные результаты говорят о том, что численно наиболее представлены среди волонтёров обучающиеся по техническим специальностям (Институт транспортной техники и систем управления – 33 %, Институт управления и цифровых технологий – 31 %, Институт пути, строительства и сооружений – 8 %), менее представлены Юридический институт (15 %), Институт экономики и финансов (9 %), Институт международных транспортных коммуникаций (4 %). Однако исходя из анализа соотношения численности волонтёров и общей численности студентов указанных институтов результирующие данные должны быть скорректированы. Не давая детального анализа, можно отметить, что в целом распределение представленности достаточно ровное для всех институтов, что свидетельствует о примерно схожем уровне мотивированности всех студентов университета к волонтёрской деятельности.

Необходимо отметить, что все направления подготовки в указанных институтах ориентированы на приобретение навыков и компетенций, получение квалификаций для работы в транспортной отрасли.

Студенты, обучающиеся на бюджетной и платной формах обучения представлены примерно одинаково в количественном отношении (49 % волонтёров обучаются на бюджетной основе). При этом, исходя из

соотношения обучающихся на бюджетной и платной основе можно было бы сделать вывод о несколько большей привлекательности волонтёрства для студентов-бюджетников (причины этого требуют дополнительного анализа, в качестве гипотезы, которая может оказаться и неверна, можно предположить несколько более плотный график времени студентов-платников, которые в той или иной мере совмещают учёбу с работой или иными формами занятости). Тем не менее разрыв не является в целом существенным.

В рамках исследования всем респондентам задавались вопросы в виде интервью относительно их мотивации и заинтересованности в обучении по данной тематике. На основании полученных ответов можно сделать вывод, что в первую очередь, обучающимися движет желание помогать людям чувствовать себя нужными. На втором месте идёт освоение новых навыков и приобретение умений, которые могут пригодиться в будущем. На третьем месте – потребность в желании самореализоваться, а также делиться собственным опытом с окружающими. Респонденты отметили важность проведения таких обучающих лекций и предложили реализовывать их в дальнейшем, дополняя материалы, использовать современные технологии, интерактивные учебные программы, а также планировать практические занятия с последующей выдачей лицам, освоившим программу, сертификатов о прохождении курса.

Волонтёрская деятельность по помощи инвалидам на объектах транспортной инфраструктуры

Что касается практики осуществления волонтёрской деятельности студентов транспортных образовательных организаций по оказанию помощи на объектах транспортной инфраструктуры, то нужно отметить, в первую очередь, наличие в Российском университете транспорта сильных волонтёрских традиций, активную деятельность волонтёрского движения. Оно нацелено на добровольную, консолидированную, социально-полезную деятельность самоуправляемых, открытых объединений обучающихся, которые способствуют социальному развитию личности, стимулируют её созидательную инициативу и творчество. Целью деятельности волонтёрского движения университета является формирование активной социальной и гражданской позиции у молодёжи университета, развитие таких личностных качеств, как милосердие, сострадание, готовность безвозмездно служить обществу, людям, оказавшимся в трудной жизненной ситуации, больным, одиноким и инвалидам. При этом предусмотрена совместная работа с Центрами добровольческого движения, управлениями и службами органов государственной власти по оказанию, в том числе, практической помощи лицам с ограниченными физическими возможностями.

По нашему мнению, наиболее интересным представляется опыт работы Центра добровольческого движения «Дорогой добра», созданного при Институте транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта. В качестве профиля волонтёрской деятельности центра определена работа с инвалидами-колясочниками и лицами с ограниченными физическими возможностями. Представители центра осуществляют эту деятельность во взаимодействии с МОО «Ассоциация молодёжных инвалидных организаций – АМИО». Центр волонтёрской деятельности «Всегда рядом» Юридического института также осуществляет социальное волонтёрство, направленное на помощь инвалидам и маломобильным гражданам. Число различных форм подобной деятельности расширяется.

ВЫВОДЫ

Осуществлённый краткий анализ некоторых аспектов организации волонтёрского движения, критическое осмысление опыта волонтёрской деятельности в Российском университете транспорта позволили сделать определённые выводы относительно направлений совершенствования работы Ресурсного центра, в том числе в целях обеспечения волонтёрской помощи маломобильным пассажирам и пассажирам из числа инвалидов на транспорте с привлечением студентов-волонтёров.

Социологический анализ позволил выявить и оценить корреляцию мотивации и заинтересованности участников волонтёрского движения в обучении по реализуемым в Российском университете транспорта программам и участии в волонтёрском движении, так как среди побудительных мотивов обучающихся наиболее значимыми и распространёнными являются желание помогать людям чувствовать себя нужными, а также стремление к освоению новых навыков и приобретению умений. Заинтересованность в обучении вопросам содействия инвалидам в большей мере присуща обучающимся по

всем специальностям, в результате освоения которых профессиональная карьера будет связана с транспортной деятельностью, что подтверждает гипотезу о наличии профессиональной мотивации к данному виду волонтёрской деятельности. В свою очередь участие в волонтёрском движении повышает ориентированность на работу в транспортной отрасли в силу мотивирующего значения деятельности транспорта как социально ориентированной отрасли.

Представленный в статье анализ, в том числе в части впервые проведённого социологического исследования, многие затронутые темы нуждаются, на наш взгляд, в дальнейших исследованиях с учётом развития собственно волонтёрского движения среди студентов транспортных вузов.

Их результаты через лучшее понимание мотивации студентов-волонтёров, улучшение организационно-правовой поддержки их социально значимой деятельности позволят повысить эффективность волонтёрской работы, направленной на оказание содействия инвалидам и маломобильным гражданам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lukman, R., Glavič, P. What are the key elements of a sustainable university? Clean Techn Environ Policy, 2007, Vol. 9, pp. 103–114. DOI: 10.1007/s10098-006-0070-7. Доступ 05.02.2021.

2. Martins, N., Gouveia, J. B., Amaral, L. P. Quest for a sustainable university: a review. International Journal of Sustainability in Higher Education, 2015, Vol. 16, No. 2. DOI: https://doi.org/10.1108/IJSHE-02-2013-0017. Доступ 05.02.2021.

3. Hussain, T., Eskildsen, J., Edgeman, R., Ismail, M., Shoukry, A. M., Gani, S. Imperatives of Sustainable University Excellence: A Conceptual Framework. Sustainability, 2019, Vol. 11, 5242. DOI:10.3390/su11195242. Доступ 05.02.2021.

4. Findler, F., Schönherr, N., Lozano, R., Stacherl, B. Assessing the Impacts of Higher Education Institutions on Sustainable Development – An Analysis of Tools and Indicators. Sustainability, 2019, Vol. 11(1), 59. DOI: https://doi.org/10.3390/su11010059. Доступ 05.02.2021.

5. Dehghanmongabadi, A., Hoşkara, S. Challenges of Promoting Sustainable Mobility on University Campuses: The Case of Eastern Mediterranean University. Sustainability, 2018, Vol. 10(12), 4842. DOI: https://doi.org/10.3390/su10124842. Доступ 05.02.2021.

6. Грувер Н. В. Моделирование деятельности волонтёрского центра в учреждении высшего профессионального образования // Современные проблемы науки и образования. – 2017. – № 2. [Электронный ресурс]: https://science-education. ru/pdf/2017/2/26210.pdf. Доступ 05.02.2021.

7. Грувер Н. В., Землин А. И., Холиков И. В. Правовые проблемы и организационно-педагогические условия реализации интеграционного потенциала волонтёрской деятельности в процессе подготовки специалистов в области юриспруденции: Монография. – М.: Русайнс, 2021. – 264 с.

8. Сикорская Л. Е. Волонтёрство как социально-педагогическая проблема // Высшее образование для XXI века. Педагогика и образование. – 2009. – Вып. 1. – С. 49–57. [Электронный ресурс]: https://cyberleninka.ru/article/n/volonterstvo-kak-forma-trudovogo-vospitaniya-studencheskoy-molodezhi/pdf. Доступ 05.02.2021.

9. Землин А. И., Клёнов М. В., Холиков И. В. Организационно-правовые проблемы предупреждения завоза и распространения массовых инфекционных заболеваний на транспорте (на примере пандемии коронавирусной инфекции COVID-19): Монография. – М.: Русайнс, 2020. – 126 с.

10. Землин А. И., Землина О. М., Клёнов М. В., Опёнышев О. С., Холиков И. В. Организационно-правовые основы функционирования транспортной системы в условиях сложной эпидемиологической обстановки: Учебник / Отв. ред.: А. И. Землин, И. В. Холиков. – М.: Русайнс, 2020. – С. 11–23.

11. Холиков И. В. Влияние эпидемий, пандемий и массовых заболеваний на экономическую и медицинскую составляющие транспортной безопасности // Сб. научных трудов Международной научно-практ. конференции «Актуальные проблемы транспортного права и транспортной безопасности в контексте современных вызовов и угроз. – М.: Российский университет транспорта. – 2020. – С. 38–47.

12. Bagreeva, E. G., Zemlin, A. I., Shamsunov, S. Kh. Does Environmental Safety Depend Upon the Legal Culture of Transport Specialists? Ekoloji, 2019, Iss. 107, pp. 4961–4965. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41714699. Доступ 05.02.2021.

13. Землин А. И., Холиков И. В. Аксиологические подходы к формированию правовой культуры специалиста-транспортника в современных условиях // Сб. научных трудов ИЗИСП «Правовые ценности в свете новых парадигм развития современной цивилизации. – М.: Инфра-М. 2020. – С. 403–411.

14. Грувер Н. В., Землин А. И., Землина О. М., Клёнов М. В., Холиков И. В. Правовые и организационные основы добровольческой (волонтёрской) деятельности: Учебник / коллектив авторов; под ред. А. И. Землина. – М.: Кнорус, 2021. – 158 с.

15. Холиков И. В. Правовое обеспечение международного сотрудничества в области медицины и здравоохранения в условиях чрезвычайных ситуаций: Монография. – М.: Истоки, 2007. – 260 с. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19761340. Доступ 05.02.2021.

16. Холиков И. В. Распространение эпидемий, пандемий и массовых заболеваний как глобальный вызов современности // Пути к миру и безопасности. – 2020. – № 2 (59). – С. 27–40. DOI: 10.20542/2307-1494-2020-2-27-40. Доступ 05.02.2021.

17. Chernogor, N., Zemlin, A., Kholikov, I., Mamedova, I. Impact of the spread of epidemics, pandemics and mass diseases on economic security of transport. E3S Web of Conferences, 2020, Vol. 203, pp. 05019. DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020305019. Доступ 05.02.2021.

18. Кожевников О. А., Шашкова О. В. Комментарий к Федеральному закону от 11 августа 1995 г. № 135-ФЗ «О благотворительной деятельности и благотворительных организациях» (постатейный). [Электронный ресурс]: https://xn--36-6kccaa8dino3ai8f.xn--p1ai/sites/all/files/docs/1995.08.11_135.pdf. Доступ 05.02.2021.

19. Трубаев А.С., Мурадян К.О. Проблемы получения высшего образования людьми с ограниченными возможностями здоровья и способы их решения // Мир транспорта. – 2019. – Т. 17. – № 2. – С. 242–252. DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-2-242-252. Доступ 05.02.2021.

DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-1-246-258

Volunteering to Help People with Disabilities and Less Mobile People in Transport Higher Education Institutions





Nadezhda V. GRUVER **Olga M. ZEMLINA** **Regina K. NAZAROVA**

***Gruver, Nadezhda V.**, Institute of Legislation and Comparative Law under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia.*
***Zemlina, Olga M.**, Russian University of Transport, Moscow, Russia.*
***Nazarova, Regina K.**, Russian University of Transport, Moscow, Russia*.*

ABSTRACT

Topical issues of involving students at transport universities (based on the example of Russian University of Transport) in volunteer activities, in assistance for people with disabilities and less mobile people at transport facilities are examined using the methods of the system-legal approach and tools of empirical interviews.

The objective of the study was to examine the impact of organisation of volunteer movement on solving of the University tasks and on motivation of the students, particularly considering the sustainable development goals.

The attention has been focused on the analysis of the mechanism and methods of implementing the capacity of volunteer movement, from the point of view of possibilities of forming socially significant qualities and value orientations in students that correspond to the needs of society and development of the transport complex, as week as the skills of legal culture and behaviour of future transport employees.

A conclusion is drawn about the need to use the opportunities of volunteering as a means of self-development of the student's personality.

The study was particularly dedicated to examining the experience of the Resource Training and Methodological Centre for Training Disabled Persons and Persons with Disabilities created and operating in Russian University of Transport, main directions of increasing the efficiency of activities to create necessary conditions for accessibility of higher education for persons with disabilities in transport universities.

Social survey allowed to reveal and assess the correlation of motivation and interest of participants in volunteer movement in training on the programs offered at Russian University of Transport and in participating in volunteering since most important incentives spread among the students comprise desire to help people to feel needed, as well as the desire to master new skills and acquire competences.

Keywords: transport-related education, volunteering, personal self-development, resource centre, assistance to disabled people and less mobile people, transport, mobility, youth movement, sustainable developemnt.

---

*Information about the authors:
Gruver, Nadezhda V. – Head of the Division of Master's studies of the Institute of Legislation and Comparative Law under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia, gruver511@mail.ru.
Zemlina, Olga M. – Ph.D. (Law), Associate Professor at the Department of Transport Law of Russian University of Transport, Moscow, Russia, Zemlin.Aldr@yandex.ru.
Nazarova, Regina K. – Specialist of the Resource Educational and Methodological Centre for Training of Disabled People and Persons with Disabilities of Russian University of Transport, Moscow, Russia, ✉ regina-nazarova@rambler.ru.

Article received 10.12.2020, updated 05.02.2021, accepted 26.02.2021.

For the original Russian text of the article please see p. 246.

INTRODUCTION

UN Sustainable Development Goals and the activity of universities

The contribution of higher educational institutions to achievement if the United Nations Sustainable Development Goals (SDG) is particular important in the perspective of the modern global developments of education. This task is complex. The UN SDG comprise both the goal 4 directly related to development of education and providing for ensuring «inclusive and equitable quality education and promote lifelong learning opportunities for all»[1], and a set of other goals. University as large organisation as well as social institution can make a specific contribution to their achievement. Recently adopted Impact ranking of universities within the system of Times Higher Education rankings is quite eloquent in that context. Its indicators reflect different aspects of university activity corresponding to the tasks within the framework of the UN SDG. They include, e.g., indicator 10 (reduced inequalities), Its metrics comprise evaluation of proportion of students with disabilities, accessible facilities for people with disabilities, support services for people with disabilities[2]. Other leading global ranking agency QS Quacquarelli Symonds edits special reports dedicated to that topic.

A rather wide range of scientific literature reflects different aspects of understanding of contribution of universities to achievement of the SDG as well as of integral elements and processes of sustainable development of the universities themselves. Without assigning ourselves with a task of developing any more or less detailed review of relevant publications in the present article, it is possible to note exclusively as an example the diversity of topics studied in those publications. They include general approaches to the concept of sustainable university [1–2], system relationship of sustainable development with increasing quality of education [3], system of indicators [4], and rather a great number of more specific approaches regarding, e.g., sustainable mobility in university campus [5]. Most approaches based on generalised features of universities and particular successful situational decisions merit the attention and adapted implementation.

The issues of using the integration potential of volunteer activity in the educational environment in the process of professional training of students in educational organisations since they are of great importance predetermined the interest of several authors to this problem [6–7; 8, pp. 49–57].

Regarding the field of transport law, scientists are particularly interested in such aspects as ensuring transport security [9–11], education of legal culture and raising professional competence of future transport employees [12, pp. 4961–4965; 13, pp. 403–411], as well as assistance to people with disabilities and less mobile people at transport facilities and in vehicles [7; 14], including with involvement of student volunteers. In this perspective, particular interest may be paid to the monograph prepared with participation of representatives of the scientific school «Transport Law», the authors of which developed, scientifically substantiated and carried out an experimental test of a designed model of the process of implementing the integration potential of volunteer activity, followed by definition of the organisational and pedagogical conditions for its successful functioning in educational environment of the university [7, pp. 8–9].

Problem statement and the objective of the research

Based on the above it seems useful to analyse the expertise of the Russian University of Transport which is sufficiently unique. It concerns, first, creation of conditions for equal access to education of people with disabilities and of less mobile people, and second, study of the features of the university as a reason for student volunteering outside the university. It is important to show that such an activity is inherent in training process, allowing obtaining better education.

The system nature of such an approach is predetermined by the specific profiling of the University. Within the higher education system in Russia there are universities with sectoral or industry's specifics that successfully train future employees, e.g., for national health system, agriculture, judicial system, prosecutor's offices, etc. Russian University of Transport is the leading university training specialist for transport and transportation sector. This predetermines focusing its activity on solution of tasks of the transport and transportation sector, e.g., the industry of future employment of graduates. The task to ensure access of less mobile people and people with disabilities to transportation services is from social point of view among key goals of transport industry. It is useful to analyse in the article the degree of motivation of future transport employees, appealed to participate in its achievement as part of the staff of the industry, to participate in its achievement just now, while been trained, particularly through volunteering. So the generalised objective of the study is to examine the impact of the volunteering on the fulfilment of the tasks of the university and on the implementation of relevant motivation of the students, considering particularly the achievement of sustainable development goals.

[1] UN Sustainable Development Goals. Goal 4. [Electronic resource]: https://sdgs.un.org/goals/goal4. Last accessed 05.02.2021.

[2] Methodology of THE Impact ranking. [Electronic resource]: https://www.timeshighereducation.com/impact-rankings-2021-reduced-inequalities-sdg-10-methodology. Last accessed 05.02.2021.

RESULTS

Volunteer movement and social support to disabled people

It is quite reasonably noted that «volunteer activity (volunteer movement) is an integral element of modern society, since in its most general form it is a gratuitous activity aimed at serving people, society, and the state. In conditions when state bodies are not able to independently cope with social problems under the conditions of an increase in the number of those in need of social assistance, the role of charitable activities increases» [14, p. 6].

In the process of volunteering, a person improves morally, gets knowledge in communication, interaction, cooperation, and humanity. Since volunteering is active and creative, young people get the opportunity to express themselves, help to form an attitude to what is happening around, including in political life, to develop an active civic position. The problem of young people with disabilities and families with people with disabilities remains a serious problem of the social security of young people.

It is obvious that social support for the disabled, low-income, unemployed is undoubtedly humane and socially significant. In this regard, charitable organisations hold various events aimed at providing material assistance, medical and social rehabilitation of the needy, unemployed, persons in need of care, both one-time (charity events, holidays, celebrations) and permanent (organisation of charitable canteens for large, single-parent families, places for temporary stay of persons without housing, organisation of children's summer camps, sanatoriums, etc.). Scientific research on environmental problems, implementation of special programs for prevention of natural disasters and various types of disasters, creation of laboratories for the study of natural phenomena are being organised. Fundraising is carried out in favour of persons affected by catastrophes and natural disasters, provision of medical, psychological assistance, clothing, food, jobs, etc. is organised [15].

Today in Russia there are 10 million people with disabilities (about 7 % of the population). There are a lot of young people and children among them. Along with the growth in the number of disabled people, there are tendencies of qualitative changes in their population. The society is concerned about the increase in the number of disabled people among people of working age, they make up 45 % of the number of citizens initially recognised as disabled. It is also alarming that, according to the Ministry of Health of the Russian Federation, 50 thousand children are born in Russia every year who are disabled since childhood. In recent years, there has been an increase in the number of disabled people due to military trauma. People with disabilities and families with disabled people (the presence of a disabled person in a family dramatically reduces its standard of living) are in our country one of the most deprived social groups [6].

It is quite obvious that the issues of volunteering, the degree of effectiveness of its organisation and interaction of volunteer organisations with government bodies have acquired particular relevance in the face of emergence of the threat of the spread of a new coronavirus infection (COVID-19), which determined the need to take particularly stringent management measures using methods and means of public legal regulation. The experience of transportation sector in a difficult epidemiological situation shows the particular importance of a correct organisation of the system work of government bodies [16], of their interaction with charitable organisations, participation of volunteers in providing assistance to less mobile groups of people in the context of inevitable introduction of restrictions on movement of individuals [17].

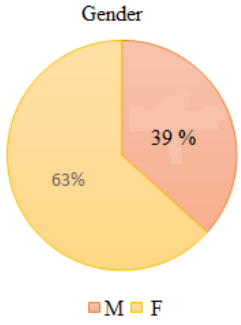
It should be noted that the Russian Federation is a party to the United Nations Convention on the Rights of Persons with Disabilities and is bound to ensure accessibility of students with disabilities to higher education. The organisation of a network of resource and methodological centres for training people with disabilities and persons with disabilities (RUMC) on the basis of Russian universities results from fulfilment of obligations assumed by the Russian Federation in connection with signing in 2006 and ratification in 2008 of the United Nations Convention on the Rights of Persons with Disabilities. In Russia, as a country party to the Convention, the necessary conditions must be created to eliminate any obstacles to people with disabilities to ensure their right to receive education and educational services at all levels [18].

Resource Educational and Methodological Centre

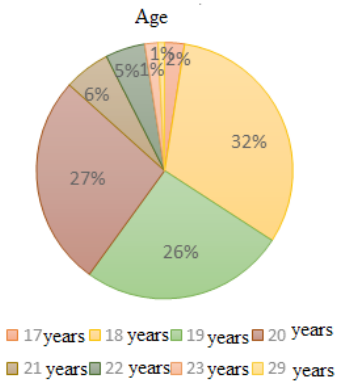
There is a Resource Educational and Methodological Centre for the Training of Disabled People and Persons with Disabilities (RUMC) within the Russian University of Transport, which ensures creation of special conditions for accessibility of higher education for people with disabilities, including socio-cultural rehabilitation and assistance in employment of graduates.

In the Russian Federation, as indicated above, program to create RUMC based on Russian universities was launched in 2016. The RUMC was created as a structural unit of the university with the aim of solving the problem of coordination, methodological, personnel and organisational support of the educational process for people with disabilities[3]. According to the regulation governing its activity, the RUMC is the basic structure that supports development of competencies in the field of teaching students with disabilities, including adapted educational programs and has model images of creating special educational conditions for the

[3] Resource Educational and Methodological Centre for the Training of Disabled People and Persons with Disabilities (in Russian) [Electronic resource]: https://www.miit.ru/depts/26244. Last accessed 05.02.2021.



Pic. 1. Gender distribution of volunteers (respondents).



Pic. 2. Age distribution of respondents.

provision of educational services of higher education for students with disabilities of various nosological groups.

The main activities of the RUMC are:

• Monitoring the activities of professional educational organisations and educational institutions of higher education on admission of persons with disabilities, on teaching students with disabilities and training for students with disabilities, on creation of special conditions for education, employment.

• Conducting seminars (webinars) for teachers and parents on vocational guidance and receiving services of secondary vocational and higher education for students with disabilities.

• Development of requirements for conditions for obtaining higher education for persons with disabilities, considering various nosological groups.

• Development of requirements for the provision of educational services for obtaining secondary vocational education for persons with disabilities and disabilities, considering various nosological groups.

• Development of websites on the Internet that provide information support regarding possibilities of obtaining educational services of secondary vocational, higher education and vocational training in the Russian Federation for students with disabilities.

Volunteering: social survey

It is worth noting that volunteers from among the students of transport universities were trained in the skills of providing situational assistance to students with disabilities on the basis of the RUMC.

In the process of training, students mastered the ethics of communication and the basic methods of providing situational assistance to students with disabilities, considering various nosologies, learned to use special assistive equipment and technical devices. Much attention was paid to the rules for interacting with students with disabilities and ensuring safety when providing assistance.

To comprehend the input conditions premises and final results of training of volunteers, as well as to identify the motives of students' personal interest in learning, a survey was carried out to analyse how and from view the «image» of the volunteer is developing. As the object of the study, a sample was taken from the number of students at Russian University of Transport who were trained in 2020 on the basis of the RUMC on the programs (topics): «Introduction to providing situational assistance to people with disabilities», «Ethics of communication with various categories of persons with disabilities», «The needs of various categories of people with disabilities in situational assistance». In total, the opinion of 120 people from among the volunteers of Russian University of Transport at the age of 17 to 29 was analysed. All survey participants were divided into four status groups: bachelor, specialist, master, and Ph.D. students. It should be noted that mostly girls (63 % of the total number of respondents) are trained as volunteers (Pic. 1).

Pic. 12 shows the main parameters of the studied sample based on the age indicators, showing that 85 % of the total number of respondents were young people aged 18–20 years.

Pic. 3 shows the results of processing the sample data according to professional groups. Since all the volunteers were students of Russian University of Transport, it was practicable to use a verified and clear criterion of appurtenance of respondents to one of 6 most large institutes of the University, as each of them has its own specialisation. The initial results showed that most present are the volunteers form among the students in technical sciences (Institute of transport vehicles and control systems (ITTSU) – 33 %, Institute of management, control and digital technology (IMDT) – 31 %, Institute of track, construction and structures (ITCS) – 8 %), less present were students of Law institute (LI) – 15 %, Institute of Economics and Finance (IEF) – 9 %, Institute of international transport communications (IITC) – 4 %. Nevertheless, based in the ratio of the number of volunteers to the total number of students at each institute the results should be adjusted. Without presenting detailed analysis, it should be noted that all the institutes are represented in an even way, that proves similar level of motivation of the students at the University regarding volunteering.

It should be also noted that all training courses in the above institutes are focused on acquiring skills and competences, qualifications intended for employment in transport and transportation sector.

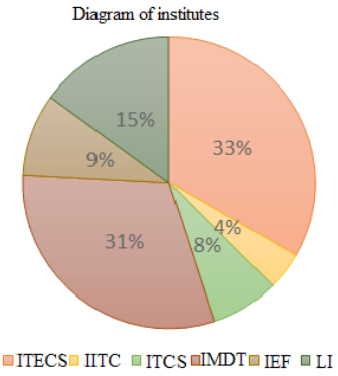
The students studying on budget [state sponsored, free study] and contract [fees are paid by the students] basis were almost equally represented (49 % of volunteers don't pay for studies). Based on the share of contractual students within the total number of students, we might conclude that volunteering is more attractive for those studying on budget basis (the reasons should be additionally examined, as a hypothesis that might be wrong, it can be supposed that contractual students have busier timetable since they might combine studies with job or other forms of employment). But the cleavage is not in any case considerable.

As part of the study, all respondents were interviewed on their motivation and interest in learning on this topic. Based on the answers received, we can conclude that, first, students are driven by the desire to help people feel needed. The second most mentioned driver was development of new skills and acquisition of competences that may be useful in the future. Third frequent answer was associated with the need for the desire to self-actualise, as well as to share one's own experience with others. The respondents noted the importance of conducting such training lectures and suggested that they be implemented in the future, supplementing the materials, using modern technologies, interactive training programs, as well as planning practical exercises with the subsequent issuance of certificates of course completion to persons who have mastered the program.

Volunteering regarding help to the people with disabilities at the transport facilities

Regarding practices of volunteering of the students of transport educational organisations to provide assistance at transport infrastructure facilities, it should be noted that, e.g., at Russian University of Transport there is a volunteer movement, which is a voluntary, consolidated, socially useful activity of self-governing, open associations of students that contribute to social personality development, stimulate its creative initiative and creativity. The purpose of the university's volunteer movement is to form an active social and civic position among university youth, develop such personal qualities as mercy, compassion, willingness to serve society, people in difficult life situations, sick, lonely and disabled people free of charge. At the same time, joint work with Volunteer Movement Centres, departments and services of public authorities is envisaged to provide, inter alia, practical assistance to persons with disabilities.

In our opinion, the most promising and interesting is the experience of the Centre for Volunteer Movement «On the Way of Good», created



Pic. 3. Distribution of volunteers (respondents) by institutes.

at the Institute of Transport Vehicles and Control Systems of Russian University of Transport. The profile of volunteer activities of the centre presumes work with wheelchair users and persons with disabilities. Representatives of the centre conduct joint activity in cooperation with the Association of Youth Disabled Organizations – AMIO. The Volunteering Centre «Always Nearby» of Law Institute also carries out social volunteering aimed at helping people with disabilities and less mobile people.

CONCLUSIONS

The brief analysis of some aspects of organisation of volunteer movement, critical reflection on the experience of volunteering at Russian University of Transport made it possible to draw certain conclusions regarding further improving the work of the Resource Centre, including to provide volunteer assistance to less mobile passengers and passengers with disabilities at transport facilities involving volunteer students.

The social survey allowed to reveal and assess the correlation of motivation and interest of volunteers in learning on topics offered by Russian University of Transport and in participating in volunteer movement since most important incentives for students are associated with the desire to help people feel needed, as well as with the desire to acquire new skills and competences. The students whose professional career will be linked to transport sector are most interested in learning on topics of assistance to disabled people. It confirms the hypothesis on profession-driven motivation to this kind of volunteering. In turn, participation in volunteering increases the motivation to be employed in transport sector since transport acts as a socially oriented industry that seems to be incentive for future employees.

The analysis presented in the article, including social survey held for the first time, as well as many issues concerned require, in our opinion, further research considering development of volunteer movement of transport univeristies' students.

The results of further research through better understanding of the reasons and causes of motivation of student volunteers, improved organisation and legal support of their socially significant activity will allow to develop even more efficient volunteering aimed at assisting people with disabilities and less mobile people.

REFERENCES

1. Lukman, R., Glavic, P. What are the key elements of a sustainable university? *Clean Techn Environ Policy*, 2007, Vol. 9, pp. 103–114. DOI: 10.1007/s10098-006-0070-7. Last accessed 05.02.2021.

2. Martins, N., Gouveia, J. B., Amaral, L. P.Quest for a sustainable university: a review. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 2015, Vol. 16, No. 2. DOI: https://doi.org/10.1108/IJSHE-02-2013-0017. Last accessed 05.02.2021.

3. Hussain, T., Eskildsen, J., Edgeman, R., Ismail, M., Shoukry, A. M., Gani, S. Imperatives of Sustainable University Excellence: A Conceptual Framework. *Sustainability*, 2019, Vol. 11, 5242. DOI:10.3390/su11195242. Last accessed 05.02.2021.

4. Findler, F., Schönherr, N., Lozano, R., Stacherl, B. Assessing the Impacts of Higher Education Institutions on Sustainable Development – An Analysis of Tools and Indicators. *Sustainability*, 2019, Vol. 11(1), 59. DOI: https://doi.org/10.3390/su11010059. Last accessed 05.02.2021.

5. Dehghanmongabadi, A., Hoşkara, S. Challenges of Promoting Sustainable Mobility on University Campuses: The Case of Eastern Mediterranean University. *Sustainability*, 2018, Vol. 10(12), 4842. DOI: https://doi.org/10.3390/su10124842. Last accessed 05.02.2021.

6. Gruver, N. V. Modelling the activities of the volunteer centre in the institution of higher professional education [*Modelirovanie deyatelnosti volonterskogo tsentra v uchrezhdenii vysshego professionalnogo obrazovaniya*]. *Modern problems of science and education*, 2017, Iss. 2. [Electronic resource]: https://science-education. ru/pdf/2017/2/26210.pdf. Last accessed 05.02.2021.

7. Gruver, N. V., Zemlin, A. I., Kholikov, I. V. Legal problems and organizational and pedagogical conditions for implementation of the integration potential of volunteering in the process of training specialists in the field of jurisprudence: Monograph. [*Pravovie problemy i organizatsionno-pedagogicheskie usloviya realizatsii integratsionnogo potentsiala volonterskoi deyatelnosti v protsesse podgotovki spetsialistov v oblasti yurisprudentsii: Monografiya*]. Moscow, Rusayns publ., 2021, 264 p.

8. Sikorskaya, L. E. Volunteering as a social and pedagogical problem [*Volonterstvo kak sotsialno-pedagogicheskyaya problema*]. *Vysshee obrazovanie dlya XXI veka. Pegagogika i obrazovanie*, 2009, Iss. 1, pp. 49–57. [Electronic resource]: https://cyberleninka.ru/article/n/volonterstvo-kak-forma-trudovogo-vospitaniya-studencheskoy-molodezhi/pdf. Last accessed 05.02.2021.

9. Zemlin, A. I., Klenov, M. V., Kholikov, I. V. Organizational and legal problems of preventing importation and spread of mass infectious diseases in transport (on the example of COVID-19 coronavirus infection pandemic): Monograph [*Organizatsionno-pravovie problemy predurezzhdeniya zavoza i rasprostraneniya massovykh infektsionnykh zabolevani na transporte (na primere pandemii koronavirusnoi infektsii COVID-19): Monografiya*]. Moscow, Rusayns publ., 2020, 126 p.

10. Zemlin, A. I., Zemlina, O. M., Klenov, M. V., Openyshev, O. S., Kholikov, I. V. Organisational and legal basis for functioning of the transport system in a difficult epidemiological situation: Textbook [*Organizatsionno-pravovie osnovy funktsionirovaniya transportnoi sistemy v usloviyakh slozhnoi epidemiologicheskoi obstanovki: Uchebnik*]. Ch. eds.: A. I. Zemlin, I. V. Kholikov. Moscow, Rusayns publ., 2020, pp. 11–23.

11. Kholikov, I. V. Influence of epidemics, pandemics and mass diseases on the economic and medical components of transport security [*Vliyanie epidemii, pandemii i massovykh zabolevanii na ekonomicheskuyu i meditsinskuyu sostavlyayushchie transportnoi bezopasnosti*]. In: *Collection of scientific works of the International scientific and practical conference «Actual problems of transport law and transport security in the context of modern challenges and threats»*. Moscow, Russian University of Transport, 2020, pp. 38–47.

12. Bagreeva, E. G., Zemlin, A. I., Shamsunov, S. Kh. Does Environmental Safety Depend Upon the Legal Culture of Transport Specialists? *Ekoloji*, 2019, Iss. 107, pp. 4961–4965. [Electronic resource]: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41714699. Last accessed 05.02.2021.

13. Zemlin, A. I., Kholikov, I. V. Axiological approaches to formation of legal culture of a transport specialist in modern conditions [*Aksiologicheskie podkhody k formirovaniyu pravovoi kultury spetsialista-transportnika v sovremennykh usloviyakh*], In: *Collection of scientific works of IZISP «Legal values in the light of new paradigms of development of modern civilization»*. Moscow, Infra-M publ., 2020, pp. 403–411.

14. Gruver, N. V., Zemlin, A. I., Zemlina, O. M., Klenov, M. V., Kholikov, I. V. Legal and organizational foundations of volunteer activities: Textbook [*Pravovie i organizatsionnie osnovy dobrovolcheskoi (volonterskoi) deyatelnosti: Uchebnik*] / group of authors; ed. by A. I. Zemlin. Moscow, Knorus, 2021, 158 p.

15. Kholikov, I. V. Legal support of international cooperation in the field of medicine and health care in emergency situations: Monograph [*Pravovoe obespechenie mezhdunarodnogo sotrudnichestva v oblasti meditsiny i zdravookhraneniya v usloviyakh chrezvychainykh situatsii. Monografiya*]. Moscow, Istoki publ., 2007, 260 p. [Electronic resource]: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19761340. Last accessed 05.02.2021.

16. Kholikov, I. V. The spread of epidemics, pandemics and mass diseases as a global challenge of our time [*Rasprostranenie epidemii, pandemii I massovykh zabolevanii kak globalniy vyzov sovremennosti*]. *Paths to peace and security*, 2020, Iss. 2 (59), pp. 27–40. DOI: 10.20542/2307-1494-2020-2-27-40.

17. Chernogor, N., Zemlin, A., Kholikov, I., Mamedova, I. Impact of the spread of epidemics, pandemics and mass diseases on economic security of transport. E3S Web of Conferences, 2020, Vol. 203, pp. 05019. DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020305019. Last accessed 05.02.2021.

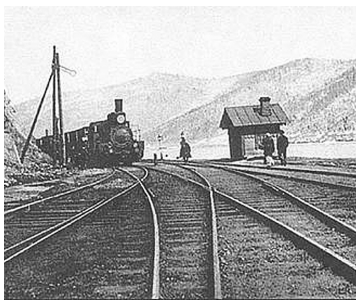
18. Kozhevnikov, O. A., Shashkova, O. V. Commentary to the Federal Law of August 11, 1995 No. 135-FZ «On charitable activities and charitable organizations» (itemized) [*Kommentariy k Federalnomu zakonu ot 11 avgusta 1995 g. № 135-FZ «O blagotvoritelnoni deyatelnostii i blagotvoritelnykh organizatsiyakh» (postateiniy)*]. [Electronic resource]: https://xn--36-6kccaa8dino3ai8f.xn--p1ai/sites/all/files/docs/1995.08.11_135.pdf. Last accessed 05.02.2021.

19. Trubaev, A.S., Muradian, K.O. Problems of Obtaining Higher Education by People with Disabilities and Ways to Solve Them. *World of Transport and Transportation*, 2019, Vol. 17, Iss. 2, pp. 242–252. DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-2-242-252. Last accessed 05.02.2021.

КОЛЕСО ИСТОРИИ • HISTORY WHEEL

ИСТОРИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ 260

Кругобайкальская железная дорога. Родство с Транссибом и собственная славная история.



РАЗМЫШЛЕНИЯ И ДИСКУССИИ: ТЕМЫ ВОЗВРАЩАЮТСЯ 272

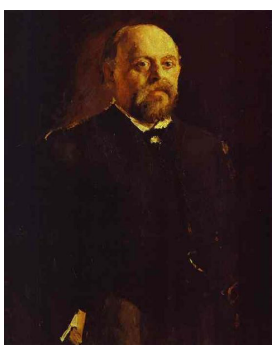
Савва Мамонтов. Взгляд на роль частного бизнеса в железнодорожной отрасли более века назад.

HISTORY OF RAILWAYS 266

Circum-Baikal Railway: near relation of the Trans-Siberian Railway possessing proper glorious history.

THOUGHTS AND DISCUSSIONS: TOPICS THAT RETURN 276

Savva Mamontov. Opinion on the role of private stakeholders of railway industry expressed more than a century ago.



УДК 621.3(09):378
DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-260-271

Золотая пряжка стального пояса России. К 120-летию Кругобайкальской железной дороги



Левин Дмитрий Юрьевич *– Международная ассоциация учёных, преподавателей и специалистов, Москва, Россия*.*

Дмитрий ЛЕВИН

120 лет назад, 9 (22) июня 1901 года комитетом по сооружению Сибирской железной дороги было принято окончательное решение о прохождении маршрута Кругобайкальской железной дороги.

Эта дорога – памятник героическому строительству Транссиба. В начале XX века за её возведением следил весь мир: кто-то с содроганием, кто-то с любопытством. Основной целью была назревшая необходимость связать Центральную часть России и Дальний Восток. Но на пути стояла непреодолимая природная преграда – самое большое в мире озеро. Сегодня «Кругобайкалка» является архитектурным заповедником, где сконцентрировано огромное количество инженерных сооружений, многие из которых уникальны до сих пор. Изыскательские работы на Байкале продолжались целых 13 лет. Озеро со всех сторон окружено горами, в него впадают 300 притоков из разных рек – это крайне непростая задача для прокладки железнодорожного пути, с которой блестяще справились российские инженеры.

Ключевые слова: железная дорога, история железной дороги, Кругобайкальская железная дорога.

---

*Информация об авторе:
Левин Дмитрий Юрьевич – доктор технических наук, АНО «Международная ассоциация учёных, преподавателей и специалистов», Россия, ✉ levindu@yandex.ru.

Статья поступил в редакцию 17.09.2019, актуализирована 15.01.2021, принята к публикации 29.01.2021.

For the English text of the article please see p. 266.

В 1905 году завершилось строительство Кругобайкальской железной дороги, которая была третьим этапом строительства Транссибирской магистрали, соединившей рельсовым путём Петербург и Владивосток. Кругобайкальская железная дорога, длиной 260 км, прошла от порта Байкал (на левом берегу истока Ангары) до бухты Мысовая (восточный берег Байкала) (рис. 1) [1]. Но у этого события была насыщенная и интересная предыстория.

В 1881 году при проработке проекта Великого Сибирского пути рассматривалось два варианта обхода озера Байкал – северный и южный. Северный был более простым. Экспедиция О. П. Вяземского (1839–1910) (рис. 2) (проводил изыскания Сибирской и Забайкальской железных дорог, впоследствии руководил строительством Южно-Уссурийской и Северо-Уссурийской железных дорог) установила, что южный вариант, несмотря на его сложность, всё же предпочтительнее, так как местность здесь лучше обжита. Поэтому остановились на нём. Трасса проходила по скалистому берегу, огибая Байкал [2].

К 1899 году Средне-Сибирскую железную дорогу довели до озера Байкал (рис. 3). Первоначально его планировалось обойти с юга по так называемой Кругобайкальской линии, протяжённостью 232 версты. Ввиду высокой стоимости этой линии, около 25 млн руб., и трудности предстоящих работ с постройкой тоннеля длиной 3,5 версты министр путей сообщения А. К. Кривошеин предложил временное решение этой проблемы. От Иркутска укладывается 80 вёрст рельсового пути до пристани Лиственничной на западном берегу Байкала (рис. 4), а далее осуществляется пароходное сообщение через озеро, имеющего в этом месте ширину от 35 до 40 вёрст [3].

Для этой цели правительство закупило в Англии два парома-ледокола, которым дали имена «Байкал» (рис. 5) и «Ангара». Рядом со станцией Байкал (бухта Лиственничная) и в бухте Мысовая построили пристани. Для сообщения с палубами паромов на пристанях соорудили двухпролётные мосты с накаточными путями (рис. 6) [4].

Для перевозки лёгких грузов и пассажиров Управление строительством имело

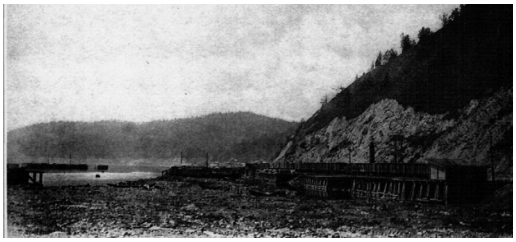


Рис. 1. Станция Байкал.



Рис. 2. О. П. Вяземский.

свою флотилию, состоявшую из пароходов «Второй» и «Кругобайкальский», а также трёх барж. Этот флот использовали для развозки материалов и рабочих по трассе строящейся дороги. Паромная переправа просуществовала ещё почти 20 лет.

В зиму 1903–1904 гг. стояли сильные морозы, и озеро сковало крепким льдом. Тогда от станции Байкал до станции Танхой по льду уложили 40-километровый рельсовый путь (рис. 7) [5].

Подготовительные работы на Кругобайкальской железной дороге, в том числе вырубка леса (рис. 8), строительство бараков для рабочих (рис. 9), начались летом 1901 года до утверждения сметы и всей технической документации [6]. Тогда же в прессе был объявлен конкурс на выполнение тоннельных работ, и получено около 50 заявлений от частных лиц и фирм, в том



Рис. 3. Начало Кругобайкальской железной дороги.



Рис. 7. Временная железная дорога по льду озера Байкал.

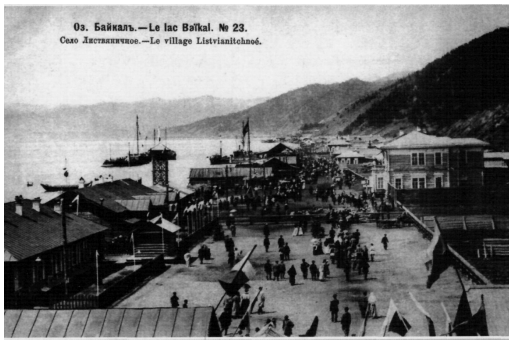


Рис. 4. Пристань Лиственничная.

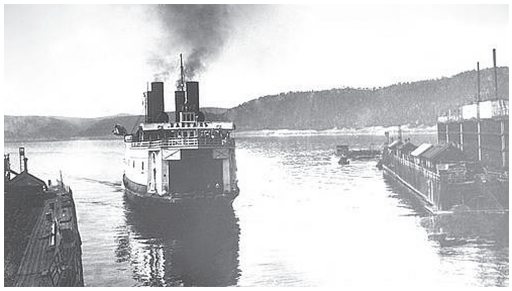


Рис. 5. Ледокол-паром «Байкал» у причала в Танхое.

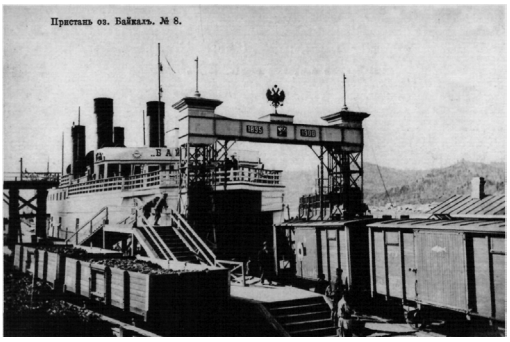


Рис. 6. Ледокол-паром «Байкал» у пристани.

числе иностранных. После конкурсного отбора приглашения разослали только 28 участникам [7].

Уникальность трассы Кругобайкальской железной дороги была обусловлена отсутствием прибрежной террасы у западного берега Байкала. Поэтому, как рассказывал начальник строительства западного шестнадцатикилометрового участка КВЖД между мысами Асламова и Шарыжалгай А. В. Ливеровский (1867–1951) (рис. 10) (впоследствии министр путей сообщения Временного правительства, а затем профессор ЛИИЖТа), «линию пришлось вести то на вырубленной в крутых скальных склонах полке с нагорными откосами высотой до 60 м (рис. 11), то на подпорных стенках (рис. 12) над самым озером, в многочисленных тоннелях (рис. 13), прорезывающих гранитные мысы, вдающиеся в озеро, то на каменных арочных виадуках над падями (рис. 14). Во многих местах пришлось защищать полотно дороги от горных обвалов и отдельных падающих камней массивными каменными галереями (рис. 15), а также от разрушительного действия байкальских волн защитными стенками с каменными призмами» [8].

Существующие на тот момент технологии позволяли прокладывать тоннели со скоростью до четырёх метров в сутки, но из-за угрозы постоянных обвалов прокладка тоннелей велась очень медленно, не более 96 см в сутки.

Самым большим сооружением был однопролётный мост с фермой расчётным пролётом 123 м через Берёзовую бухту глубиной почти 27 м на 27-м км от станции

Байкал (рис. 16). Это пролётное строение собиралось на подмостях в выемке, а затем продольной и поперечной надвижкой устанавливалось в проектное положение.

Если на всей Транссибирской магистрали на 1 км длины в среднем приходилось 0,89 искусственных сооружений, то на Кругобайкальской железной дороге на 1 км – 2,23 искусственных сооружения. Было сооружено 12 тоннелей и 4 защитных галереи, разработано 2,4 млн кубометров скального грунта, пробурено 700 км буровых скважин и израсходовано 2400 т взрывчатых веществ. На каждые 400 метров дороги приходится как минимум одно искусственное сооружение с индивидуальным проектом. Трудности в организации строительства также усугублялись отсутствием на месте необходимых строительных материалов, кроме камня. Даже песок приходилось возить летом на баржах, а зимой – по льду из Култука за 40 км. Всего было выполнено около 16 млн кубометров земляных работ (рис. 17). Наибольшая высота насыпи составила 13,4 м (78-й км), наибольшая глубина выемки – 30,4 м (57-й км). При этом на западном участке 62 % земляных работ – скальные, которые выполняли только взрывным способом. Соответственно, при постройке дороги израсходовали около 309 т динамита и 2870 м фитиля [4].

Согласно утверждённым техническим условиям на строительстве КБЖД предельный уклон продольного профиля пути был принят равным 0,008. Наименьший радиус кривых составлял 150 саж (320 м). Земляное полотно отсыпалось под один путь. Ширина основной площадки земляного полотна была принята 5,55 м, в скальных выемках – 5,32 м. На подходах к мостам на протяжении 10,7 м земляное полотно уширялось до 5,96 м. У тоннелей на расстоянии 75 м выемки разрабатывались под два пути. Верхнее строение пути (рельсы, стрелочные переводы, скрепления) отечественные заводы поставляли без задержек. В главные и станционные пути были уложены рельсы массой 32,2 кг/м (24 фунта на фут). На дополнительных разъездах, открытых уже в процессе строительства, укладывались рельсы массой 30,2 кг/м [4].

Временное (рабочее) движение поездов открывали по мере готовности участков: от станции Танхой до станции Мысовая – в декабре 1902 года, от станции Танхой до стан-



Рис. 8. Заготовка леса для строительства.



Рис. 9. Рабочий посёлок на Кругобайкальской железной дороге.

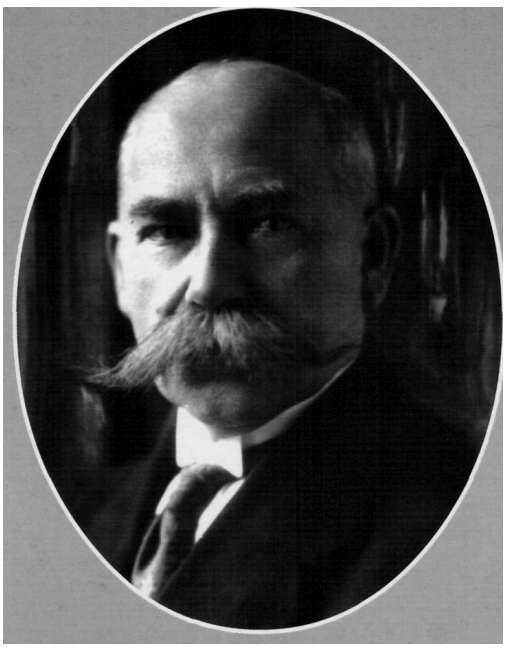


Рис. 10. А. В. Ливеровский.

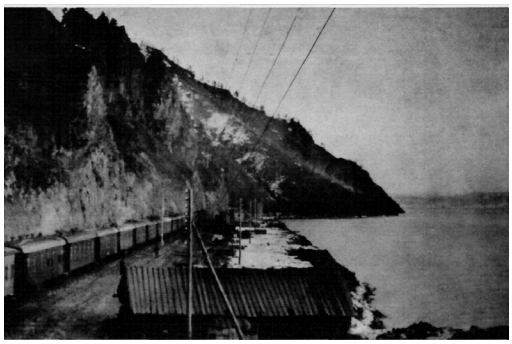


Рис. 11. Трасса железной дороги вдоль берега Байкала.

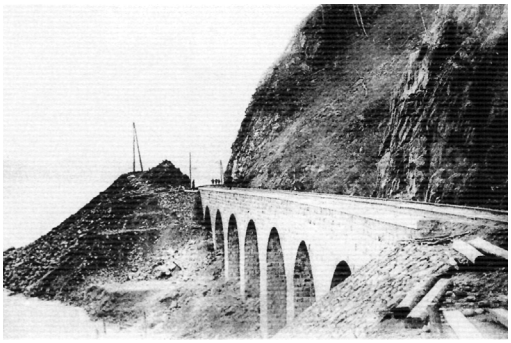


Рис. 14. Виадук «Упорная губа».

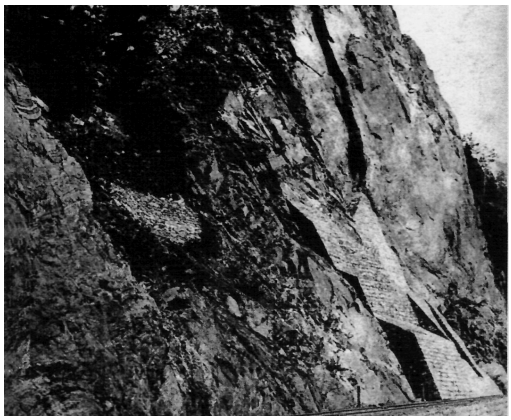


Рис. 12. Вид линии на пикете № 71 и подпорных стен.



Рис. 15. Каменная галерея.

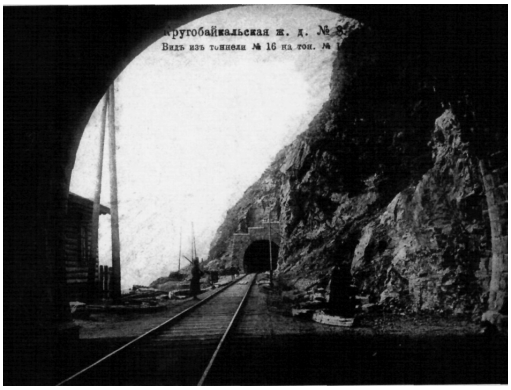


Рис. 13. Вид из тоннеля № 16.

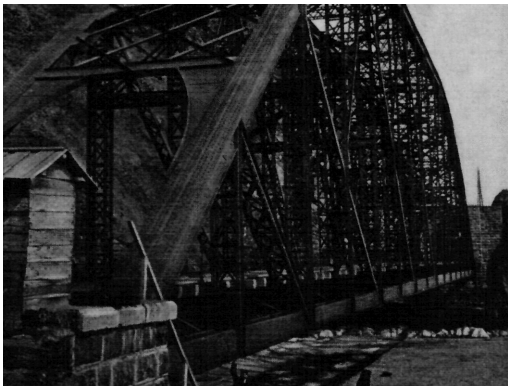


Рис. 16. Мост через Берёзовую бухту.

ции Слюдянка – в марте 1904 года и от станции Слюдянка до станции Байкал – 12 сентября 1904 года. Первый поезд сопровождал министр путей сообщения князь М. И. Хилков (рис. 18). А через два дня было разрешено открыть здесь временное движение «*...рабочих поездов и гружёных вагонов с таким расчётом и в таких размерах, чтобы не мешать работать по достройке*». Таким образом, от начала работ на участке Байкал–Слюдянка в марте 1902 г. до открытия временного движения поездов на КБЖД прошло 2 года и 5 месяцев – рекордный срок, учитывая исключительно трудные условия строительства.

В постоянную эксплуатацию дорогу вводили также по отдельным участкам: Мысовая–Танхой – 2 августа 1903 года, Танхой–Слюдянка – 15 марта 1905 года, Слюдянка–Байкал – 15 октября 1905 года [9].



Рис. 17. Земляные работы на строительстве.



Рис. 18. Князь М. И. Хилков, министр путей сообщения в 1895–1905 гг.

Ещё в период строительства и в начале эксплуатации магистрали стало ясно, что реальный рост перевозок заставит намного увеличить пропускную и провозную способность линии. Уже в 1905 году был решён вопрос о прокладке второго главного пути. Второй путь укладывали с озёрной стороны. Одновременно укреплялись ненадёжные откосы полотна и скальные выемки первого пути, тем самым появилась возможность внести необходимые изменения, в том числе уменьшив предельные радиусы кривых. За период эксплуатации дороги в 1905–1910 гг. мощные горные обвалы часто разрушали путь, и вторую линию соорудили в обход бухты, проложив в скале двухпутный тоннель № 9, оставив в стороне опасный одноколейный участок. Металлическую ферму моста через реку Выдрино – самую длинную на КБЖД – перевезли и установили на новые опоры моста.

В трёх верстах от станции Маритуй в районе мыса Киркирей-3 в связи с постоянными горными обвалами и неукротимым характером реки Киркирей трассу пришлось сдвинуть вглубь мыса и параллельно прежнему тоннелю № 18 пробить новый двухпутный тоннель № 18-bis. При этом построенные ранее тоннель, металлический мост и подпорные стены у первого пути остались в стороне от новой трассы.

Второй путь КБЖД был сдан в эксплуатацию 9 октября 1915 года, а 9 декабря того же года линия была передана в ведение Забайкальской железной дороги. Так завершилось сооружение дороги, которую в начале XX в. называли «Золотой пряжкой стального пояса России»: «пряжкой» – потому что соединила разорванную Байкалом Транссибирскую магистраль, а «золотой» – потому что она потребовала огромных финансовых затрат и имела уникальный, не имеющий аналогов облик, сочетавший замечательный инженерный комплекс и прекрасный береговой ландшафт Байкала [10].

ЛИТЕРАТУРА

1. Левин Д. Ю. Развитие сети железных дорог в XIX веке: Учеб. пособие. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. – 398 с.
2. История железнодорожного транспорта России. – Т. 1: 1836–1917 гг. – Спб., 1994. – 336 с.
3. Транссибирская и Байкало-Амурская магистрали – мост между прошлым и будущим России. – М.: Издательство Центра «Транспорт», 2005. – 348 с.
4. Калиничев В. П. Великий Сибирский путь: Историко-экономический очерк. – М.: Транспорт, 1991. – 247 с.
5. Казимиров В. Н. Великий Сибирский путь. – Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1984. – 142 с.
6. Левин Д. Ю. Витте – выдающийся железнодорожник: Монография. – М.: Инфра-М, 2018. – 418 с.
7. Отчёт по постройке Кругобайкальской железной дороги, 1900–1905 гг. – СПб., 1908.
8. Воронин М. И., Павлов В. Е. Великий Сибирский путь – плод замыслов учёных и питомцев Института инженеров путей сообщения. – Л.: ЛИИЖТ, 1991. – 26 с.
9. Восточно-Сибирская железнодорожная магистраль. Путь в 100 лет (1898–1998 гг.). – Иркутск, 1998.
10. Кругобайкальская железная дорога: Краткий путеводитель. – Иркутск, 2001.

DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-260-271

Gold Buckle of the Steel Belt of Russia. To the 120th Anniversary of the Circum-Baikal Railway



Dmitry Yu. LEVIN

Levin, Dmitry Yu., *International association of scientists, professors and specialists, Moscow, Russia*.*

ABSTRACT

120 years ago, on June 22 (June 9 old style), 1901 the Committee on construction of the Trans-Siberian Railway approved final decision on the location of the route of Circum-Baikal Railway (CBR).

This railway is a monument to the heroic construction of the Trans-Siberian Railway. At the beginning of 20th century, the whole world followed its construction: someone with a shudder, someone with curiosity. The main goal was defined by the urgent need to connect the Central part of Russia and the Far East. Hence, there was an insurmountable natural obstacle on the way: the largest lake in the world. Today the CBR is an architectural reserve, englobing a huge number of engineering structures. Many of them are still unique. Prospecting work on Lake Baikal lasted for 13 years. The lake is surrounded by mountains, 300 tributaries from different rivers flow into it. So laying a railway track was an extremely difficult task, Russian engineers have brilliantly coped with.

Keywords: *railway, railway history, Circum-Baikal railway.*

*Information about the author:
Levin, Dmitry Yu. – D.Sc. (Eng), NGO International association of scientists, professors and specialists, Moscow, Russia, ✉ levindu@yandex.ru.

Article received 17.09.2019, updated 15.01.2021, accepted 29.01.2021.

For the original Russian text of the article please see p. 260.

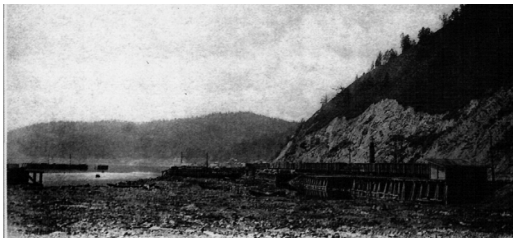
In 1905, the construction of the Circum-Baikal Railway was completed. It was the third stage in the construction of the Trans-Siberian Railway that connected St. Petersburg and Vladivostok by rail. The Circum-Baikal Railway, 260 km long, ran from the port of Baikal (on the left bank of the Angara source) to Mysovaya Bay (the eastern coast of Baikal) (Pic. 1) [1]. But this event had been preceded by interesting and condensed history.

In 1881, when working out the project of the Great Siberian Road, two options for bypassing Lake Baikal were considered – northern and southern. The northern one was simpler. Expedition of O. P. Vyazemsky (1839–1910) (Pic. 2) (he conducted surveys of the Siberian and Trans-Baikal railways, subsequently supervised the construction of the Southern-Ussuriysk and Northern-Ussuriysk railways) established that the southern option, despite its complexity, is nevertheless preferable, since the area is better settled here. Therefore, they selected this option. The route passed along the rocky coast, skirting Baikal [2].

By 1899, the Central Siberian railway was brought to Lake Baikal (Pic. 3). Initially, it was planned to bypass it from the south along the so-called Circum-Baikal line, 232 versts long. In view of the high cost of this line, about 25 million rubles, and the difficulties of the forthcoming work with a tunnel of 3,5 versts in length, the Minister of Railways A. K. Krivoshein proposed a temporary solution to this problem. From Irkutsk, 80 versts of rail track are laid to the Listvennichnaya pier on the western shore of Lake Baikal (Pic. 4), and then there is a steamship service across the lake, which in this place is 35 to 40 versts wide [3].

For this purpose, the government purchased two icebreaker ferries in England, which were given the names «Baikal» (Pic. 5) and «Angara». Near the Baikal station (Listvennichnaya bay) and in the Mysovaya bay, wharves were built. For communication with the decks of ferries at the quays, two-span bridges with rolling tracks were built (Pic. 6) [4].

For transportation of light cargo and passengers, the Construction Department had its own flotilla, which consisted of the steamers «Second» and «Circum-Baikal», as well as three barges. This fleet was used to transport materials and workers along the route of the road under construction. The ferry service existed for almost 20 more years.



Pic. 1. Baikal station.



Pic. 2. O. P. Vyazemsky.

In the winter of 1903–1904 there were severe frosts, and the lake was covered with strong ice. Then from the Baikal station to the Tankhoi station, a 40-kilometer rail track was laid on the ice (Pic. 7) [5].

Preparatory work on the Circum-Baikal Railway, including deforestation (Pic. 8), construction of barracks for workers (Pic. 9) began in the summer of 1901, before the approval of the estimate and all technical documentation [6]. At the same time, a competition for the execution of tunnel works was announced in the press and about 50 applications were received from individuals and companies, including foreign ones. After the competitive selection, invitations were sent to only 28 participants [7].

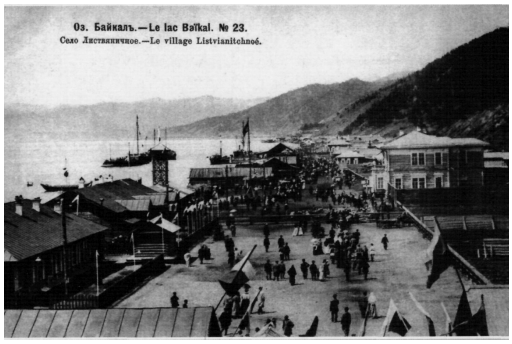
The uniqueness of the route of the Circum-Baikal Railway was due to the absence of a coastal terrace near the western shore of Lake



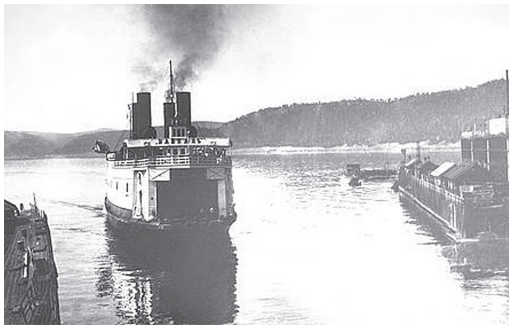
Pic. 3. The starting point of the Circum-Baikal Railway.



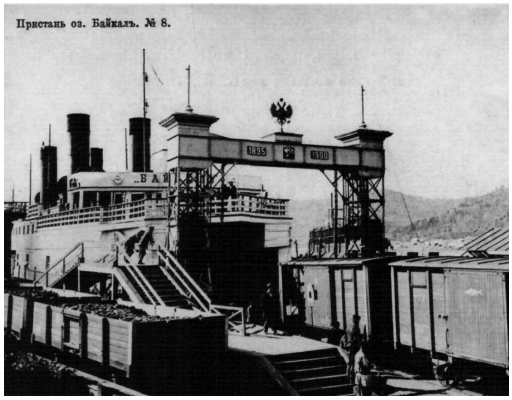
Pic. 7. Temporary railway laid on the ice of the lake Baikal.



Pic. 4. Listvennichnaya wharf.



Pic. 5. Icebreaker-ferry «Baikal» at the pier in Tankhoi.



Pic. 6. Icebreaker-ferry «Baikal» at the wharf.

Baikal. Therefore, as the head of construction of the western sixteen-kilometer section of CBR between the capes of Aslamov and Sharyzhalgai, A. V. Liverovsky (1867–1951) (Pic. 10) (later the Minister of Railways of the Provisional Government, and then professor of Leningrad institute of railway engineers) said, «we have to lay track in steep rocky slopes, a shelf with upland slopes up to 60 m high (Pic. 11), then on retaining walls (Pic. 12) above the lake itself, in numerous tunnels (Pic. 13) cutting through granite capes protruding into the lake, then on stone arched viaducts over the falls (Pic. 14). In many places, it was necessary to protect the road bed from rock falls and individual falling stones by massive stone galleries (Pic. 15), as well as from the destructive effect of the Baikal waves with protective walls with stone prisms» [8].

The technologies existing at that time made it possible to tunnel at a speed of up to four meters per day, but due to the threat of constant avalanches, the tunnelling was carried out very slowly, no more than 96 cm per day.

The largest structure was a single-span bridge with a truss with an estimated span of 123 m across Berezovaya Bay with a depth of almost 27 m at 27 km from the Baikal station (Pic. 16). This superstructure was assembled on a scaffold in a recess, and then by longitudinal and transverse thrusting it was installed in the design position.

If on the entire Trans-Siberian Railway there were on average 0,89 artificial structures per 1 km of length, then on the Circum-Baikal Railway there were 2,23 artificial structures per 1 km. 12 tunnels and 4 protective galleries were built, 2,4 million cubic meters of rocky soil were

developed, 700 km of boreholes were drilled, and 2400 tons of explosives were consumed. For every 400 meters of the railway, there is at least one artificial structure built according to an individual project. Difficulties in organising construction were also aggravated by the lack of necessary building materials on site, except for stone. Even the sand had to be transported in summer on barges, and in winter on ice from Kultuk for 40 km. In total, about 16 million cubic meters of earthworks were carried out (Pic. 17). The highest embankment height was 13,4 m (78th km), the greatest excavation depth was 30,4 m (57th km). At the same time, in the western section, 62 % of earthworks were rock works, which were carried out only by the explosive method. Accordingly, during the construction of the railway, about 309 tons of dynamite and 2870 m of wick were consumed [4].

According to the approved technical conditions for construction of the Circum-Baikal Railway, the maximum slope of the longitudinal profile of the track was taken equal to 0,008. The smallest radius of curves was 150 sazhen (320 m). The roadbed was dumped under one track. The width of the main site of the roadbed was taken as 5,55 m, in rock cuttings as 5,32 m. At the approaches to the bridges for 10,7 m, the roadbed widened to 5,96 m. In the tunnels at a distance of 75 m, the excavations were developed for two tracks. The topside structure of the track (rails, turnouts, fasteners) was delivered by domestic factories without delay. The main and station tracks were made of rails weighing 32,2 kg/m (24 lb-ft). Rails weighing 30,2 kg/m were laid on additional crossings, which were already opened during the construction process [4].

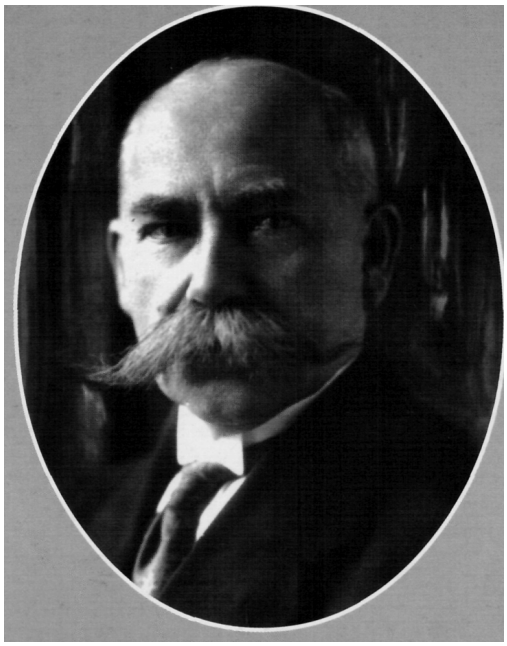
Temporary (working) train traffic was opened as the sections were ready: from Tankhoi station to Mysovaya station – in December 1902, from Tankhoi station to Slyudyanka station – in March 1904 and from Slyudyanka station to Baikal station – on September 12, 1904. The first train was accompanied by the Minister of Railways, knyaz M. I. Khilkov (Pic. 18). And two days later, it was allowed to open a temporary movement here of «*...working trains and loaded cars with such a calculation and in such a size so as not to interfere with work on completion*». Thus, from the start of work on the Baikal-Slyudyanka section in March 1902 to the opening of temporary train traffic on the



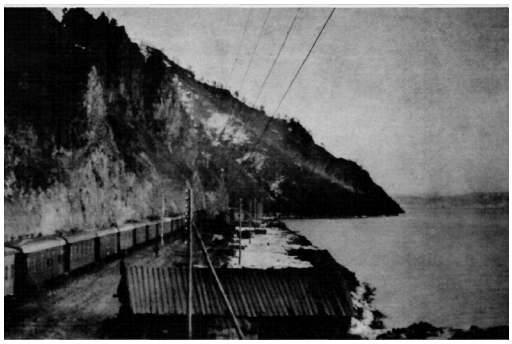
Pic. 8. Timber harvesting.



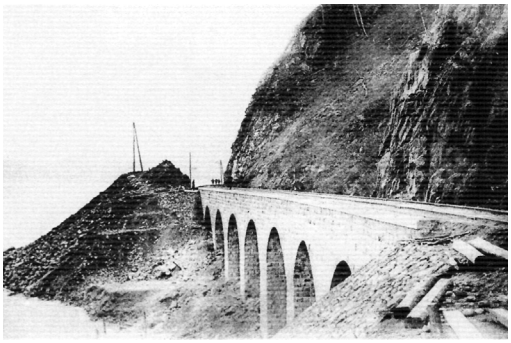
Pic. 9. Workforce settlement at Circum-Baikal Railway.



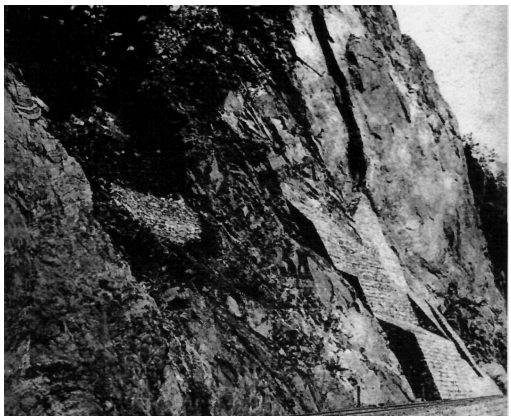
Pic. 10. A. V. Liverovsky.



Pic. 11. The railway track along Baikal coast.



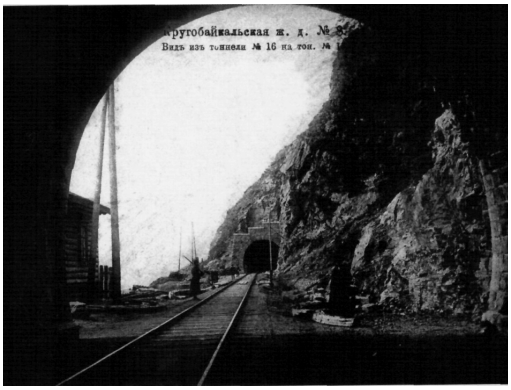
Pic. 14. Viaduct «Stubborn bay».



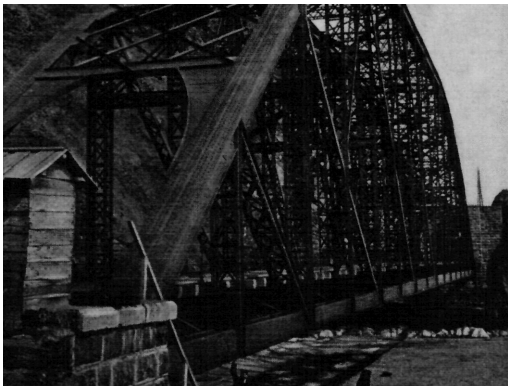
Pic. 12. View of the line of protection walls at the post No. 71.



Pic. 15. Stone gallery.



Pic. 13. View from the tunnel No. 16.



Pic. 16. Bridge over Berezovaya bay.

Circum-Baikal Railway, 2 years and 5 months passed, and that was a record time, given the extremely difficult construction conditions.

The railway was also put into permanent operation by separate sections: Mysovaya–Tankhoi – August 2, 1903, Tankhoi–Slyudyanka – March 15, 1905, Slyudyanka–Baikal – October 15, 1905 [9].

Even during the construction period and at the beginning of operation of the railway, it became clear that the real growth in traffic would force a much increase in the transit and carrying capacity of the line. Already in 1905, the issue of laying the second main track was resolved. The second track was laid on the lake side. At the same time, unreliable slopes of the bed and rock cuttings of the first track were strengthened, thereby making it possible to make the necessary changes, including reducing the limiting radii of curves. During the period



Pic. 17. Earthworks.



Pic. 18. Prince M. I. Khilkov, Minister of Railways in 1895–1905.

of operation of the railway in 1905–1910 powerful rock falls often destroyed the track, and the second line was built bypassing the bay, laying a double-track tunnel No. 9 in the rock, leaving aside the dangerous single-track section. The metal girder of the bridge across the Vydrino River – the longest on the Circum-Baikal Railway – was transported and installed on new bridge supports.

Three versts from the Marituy station in the area of Cape Kirkirey-3, due to the constant mountain falls and the indomitable nature of the Kirkirey River, the track had to be shifted into the depths of the cape and, parallel to the old tunnel No. 18, a new double-track tunnel No. 18-bis was cut. At the same time, the previously built tunnel, metal bridge and retaining walls at the first track remained away from the new route.

The second track of the Circum-Baikal Railway was put into operation on October 9, 1915, and on December 9 of the same year, the line was transferred to the Trans-Baikal Railway. So, the construction of the railway was completed, which at the beginning of 20th century was called the «Golden Buckle of the Steel Belt of Russia»: «buckle» – because it connected the Trans-Siberian Railway torn by Baikal, and «golden» – because it demanded huge financial costs and had a unique, unparalleled appearance, combining a wonderful engineering complex and a beautiful coastal landscape of Baikal [10].

REFERENCES

1. Levin, D. Yu. Development of the railway network in 19th century: Study guide [*Razvitie seti zheleznykh dorog v XIX veke: Ucheb. poosobie*]. Moscow, FSBEI «Educational and methodological center for education in railway transport», 2014, 398 p.
2. The history of railway transport in Russia [*Istoriya zheleznodorohnogo transporta Rossii*]. Vol. 1: 1836–1917. St. Petersburg, 1994, 336 p.
3. Trans-Siberian and Baikal-Amur Mainlines – a bridge between the past and the future of Russia [*Transsibirskaya i Baikalo-Amurskaya magistrali – most mezhdu proshlym i budushchim Rossii*]. Moscow, Publishing house of the Center «Transport», 2005, 348 p.
4. Kalinichev, V. P. The Great Siberian Way: Historical and Economic Essay [*Velikiy Sibirskiy Put': Istoriko-ekonomiheskiy ocherk*]. Moscow, Transport publ., 1991, 247 p.
5. Kazimirov, V. N. The Great Siberian Way [*Velikiy Sibirskiy Put'*]. Irkutsk, East-Siberian Book Publishing House, 1984, 142 p.
6. Levin, D. Yu. Witte – an outstanding railway worker: Monograph [*Vitte – vydayushchiisya zheleznodorozhnik: Monografiya*]. Moscow, Infra-M publ., 2018, 418 p.
7. Report on construction of the Circum-Baikal Railway, 1900–1905 [*Otchet po postroike Krugobaikalskoi zheleznoi dorogi, 1900–1905*]. St. Petersburg, 1908.
8. Voronin, M. I., Pavlov, V. E. The Great Siberian Way – the fruit of the ideas of scientists and students of the Institute of Railway Engineers [*Velikiy Sibirskiy Put' – plod zamyslov uchenykh i pitomtsev Institua inzhenerov putei soobshcheniya*]. Leningrad, LIIZHT publ., 1991, 26 p.
9. East Siberian Railway. The path of 100 years (1898–1998) [*Vostochno-Sibirskaya zheleznodorzhnaya magistral. Put' v 100 let (1898–1998)*]. Irkutsk, 1998.
10. Circum-Baikal Railway: A Brief Guide [*Krugobaikalskaya zheleznaya doroga: Kratkiy putevoditel'*]. Irkutsk, 2001.

DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-272-278



В. Серов. Портрет Саввы Мамонтова. 1887.

Статья из журнала «Железнодорожное дело», изданного более 110 лет назад, подробно излагает содержание опубликованной известным предпринимателем и меценатом, имевшим самый непосредственный опыт, связанный со строительством и эксплуатацией железных дорог, С. И. Мамонтовым брошюры «О железнодорожном хозяйстве в России». В ней Савва Мамонтов предлагает свой взгляд на многочисленные преимущества частного подрядного строительства железных дорог и их последующей эксплуатации на основе, говоря современным языком, государственно-частного партнёрства, включая темпы строительства, рациональное отношение к расходам. Публикатор статьи, частично соглашаясь с С. И. Мамонтовым, настаивал тем не менее на необходимости более глубокого анализа изменений в привычную модель частных и государственных железных дорог, сложившейся в тот момент в России.

Ключевые слова: железная дорога, частное предпринимательство, С. И. Мамонтов, государственно-частное партнёрство, история железных дорог.

For the English text of the publication please see p. 276.

Редакция выражает признательность сотрудникам библиотеки Российского университета транспорта за помощь в подготовке материала.

Савва Иванович Мамонтов о железнодорожном хозяйстве в России

В последние годы чуть не ежедневно затрагиваются разные вопросы, касающиеся строительства, эксплуатации и хозяйства наших железных дорог. Прислушиваясь к мнениям Общества и считаясь с современным положением железнодорожного дела, Министерство Путей Сообщения делало и делает целый ряд попыток к согласованию установившихся издавна традиций с новыми веяниями, но прежде всего старается, хотя, к сожалению, пока совершенно напрасно, добраться до причин постоянного железнодорожного дефицита и установить, чтобы казённые железные дороги давали государству известный доход...

В ряде разных изданий, затрагивающих те или другие вопросы железнодорожной жизни, обращает на себя внимание небольшая брошюра «О железнодорожном хозяйстве в России», изданная известным железнодорожным и финансовым в недалёком прошлом деятелем, Саввой Ивановичем Мамонтовым.... В этой брошюре почтенный строитель Московско-Ярославско-Архангельской железной дороги, излагая свои взгляды на существующий порядок постройки и эксплуатации железнодорожных линий и указывая на желательные, с его точки зрения, изменения в таковом порядке, сравнивает частное железнодорожное дело с казённым и приходит к любопытным, не в пользу казны, выводам.

Так например, из приводимых в брошюре данных[1] о повёрстной стоимости железных дорог без подвижного состава, уплаты % и расходов реализации, оказывается, что средняя стоимость одной версты казённых железных дорог (взято 15 линий, движение на коих открыто в 1899–1902 гг.) доходила до 57741 руб., а средняя стоимость одной версты частных железных дорог (приведено также 15 линий, открытых для пользования в 1897–1901 гг.) обошлась в

[1] Сведения эти взяты из доклада Департамента железнодорожных дел 30-го августа 1903 года.

48061 руб., т.е. почти на 20 % дешевле казённых.

Полагая, что техническая прочность дороги при её сооружении как казённым, так и частным путём, при существующем контроле, будет тождественной, С. И. Мамонтов приходит к выводу, что приведённая выше экономия при частном строительстве является, исключительно благодаря распорядительности и хозяйственности строителей, а также – отсутствию излишней канцелярщины и волокиты, чуждых всякому частному хозяйству...

При казённой постройке картина получается совершенно иная. Договоры с подрядчиками и поставщиками, заключаемые на основании устаревшего во всех отношениях положения о казённых подрядах и поставках, представляются явно ненормальными, ибо они совершенно не ограждают интересов контрагентов, отдавая их в полное распоряжение технического надзора, могущего – на основании договора – довести до больших убытков и даже разорить вполне, в сущности, исправного подрядчика. Это обстоятельство, равно как и существующий канцелярский формализм выдачи текущих платежей и окончательных расчётов, получаемых иногда с громадными опозданиями, заставляют контрагентов при назначении цен на работы повышать таковые более чем на 10 %, пропорционально несомому риску и необходимости вкладывать в дело капиталы, время возвращения которых трудно точно определить (не говоря уже и о возможности выхода с судебным процессом).

Кроме приведённых обстоятельств почтенный автор брошюры обращает внимание читателя на резкую разницу и в основных задачах строительства. Частное общество, сооружая дорогу для пользования своего общества и будучи заинтересовано в, возможно, более дешёвой эксплуатации проводимой линии, старается закончить постройку не только возможно скорее (чтобы не платить лишних % за время постройки), но и с таким расчётом, чтобы потом – после открытия движения – не пришлось достраивать или перестраивать дорогу за счёт эксплуатации. Совершенно иначе обстоит дело с казёнными железными дорогами, постройка которых производится одним Управлением, а эксплуатация – другим, причём интересы строителя и будущего начальника её эксплуатации бывает очень трудно согласовать и сопоставить. Как пример, С. И. Мамонтов указывает на Московскую Окружную дорогу, сдача которой в эксплуатацию началась ещё в конце 1907 года и продолжалась около 2-х лет. При постройках этой категории, помимо уплаты процентов по строительному капиталу за время постройки (зачастую благодаря замедлениям при строительстве, гораздо большее, чем предполагалось при утверждении сметы), приходится почти всегда нести дополнительные затраты на приведение выстроенной линии в надлежащий вид, что, в общем, не только удорожает постройку на громадную сумму, но и взваливает на казну лишние многомиллионные расходы по судебным процессам и по платежам всякого рода.

Обращаясь затем к существующим основам железнодорожной эксплуатации, С. И. Мамонтов подчёркивает те хозяйственно-экономические начала, которые положены в основу эксплуатации частных железных дорог. Правления таких дорог состоят из директоров-акционеров, вносящих залоги, лично заинтересованных в выгодном ведении дела; непосредственный руководитель технической эксплуатации-инженер, управляющий дорогой, и прочие служащие заинтересованы в прибылях общества наградами, сравнительно довольно крупными, выдаваемыми пропорционально прибылям эксплуатации. Аппарат управления делом частного общества подвижный и чувствительный. Постоянный хозяин дела – Правление, а в некоторых случаях и Управление – всегда знает точно, прибыль или убыток приносит предприятие, и потому имеет полную возможность безотлагательно принять соответствующие меры. Имея характер коммерческого дела, частная дорога старается привлекать грузы и пассажиров и в этих видах, соблюдая собственные интересы, она одновременно считается и с интересами грузоотправителей и пассажиров, заботясь об их удобствах и о возможно меньшем формализме и стеснениях при расчётах и сношениях со своими клиентами.

Совершенно иной, инертный и безответственный характер носит казённая эксплуатация, благодаря главным образом тому, что роль Правления играет на казённых дорогах Управление железных дорог, состоящее из безответственных чиновников, а вместо ответственного Управляющего линией – Начальник дороги, поставленный также в рамки чиновника. Местные управления железных дорог не имеют вовсе времени думать о грузоотправителях и пассажирах, ибо заняты отпиской и высылкой справок, отзывов и всевозможных сведений, запрашиваемых бесчисленными предписаниями

и циркулярами разных контролирующих и наблюдающих учреждений. Кроме Государственного Контроля, что только не контролирует местные управления железных дорог: и Казённые Палаты, и Казначейства, и Управление железных дорог... Чего только не требуют от управлений железных дорог разные статистические отделы и инспекторские ревизии... Благодаря установленным порядкам, конечный результат казённой эксплуатации на линиях выясняется много лет спустя[2], а производимый из года в год Государственным Контролем подсчёт результатов эксплуатации, как выяснилось в настоящее время комиссией генерала Петрова, не соответствует истинному положению дела. При таком порядке нет ничего удивительного, если для руководителей дела совершенно неожиданно выплывают какие-то непокрытые дефициты прежних лет, как это случилось с бывшим министром Шауфусом при рассмотрении бюджета Министерства Путей Сообщения в Государственной Думе...

Затем, как и при казённых постройках, в силу всех вышеприведённых обстоятельств, при казённой эксплуатации происходят хронические переплаты при заготовках топлива и разных материалов по высшим ценам, чем в частной эксплуатации, и производство работ – сравнительно с частными дорогами – обходится по более дорогим ценам. Причина этого явления та же, как и при постройках: канцелярская волокита, формализм и хроническая задержка платежей, то благодаря равнодушному отношению к делу агентов дороги, то вследствие чересчур бдительного надзора со стороны Государственного Контроля, то, наконец, просто-напросто из-за ранее израсходованного Управлением дороги кредита, из которого надлежало бы произвести уплату...

Все эти выводы почтенный С. И. Мамонтов подкрепляет ссылками на наблюдавшиеся им факты из эксплуатационного быта Северных и некоторых других казённых железных дорог. Так, например, ныне уже предъявлены к казне крупные иски со стороны поставщиков нефти (фирмы Нобель и Мазут) за задержку платежей по поставкам на дороги этого продукта. По расчёту на 1 января 1909 года претензия названных фирм простирается до 10.000.000 руб., и за несвоевременную уплату казне, вероятно, придётся, кроме судебных издержек, уплатить непроизводительно огромный штраф в размере 12 % годовых. Можно ожидать, что, если нефтяники успеют взыскать означенный штраф, то, несомненно, постараются взыскать штрафы за несвоевременные платежи и все другие, обиженные в этом направлении, подрядчики и поставщики, что, конечно, вызовет большие убытки для казны... Другой курьёзный факт из области формализма и явного признака хронического чиновного недомыслия, по словам автора брошюры, имел место на Северных железных дорогах в 1905 или 1906 гг. Была вызвана конкуренция на поставку нефтяных остатков, причём не только цены оказались выше, чем в предыдущем году, но и, сверх того, нефтяники предупреждали, что, если заявленных цен не утвердят, то через 2 недели они ещё повысятся. Несмотря на то, что заявление было вполне достоверно, ибо всем было хорошо известно, что всё нефтяное дело находится в крепких руках группы фирм, связанных синдикатом, заявленные цены Управлением железных дорог утверждены не были. На вторую конкуренцию явились те же лица, но, как и заявляли ранее, первоначальную цену повысили так, что казне пришлось непроизводительно переплатить более 400.000 рублей[3]. Так как в приводимом случае, едва ли могущем иметь место в частном железнодорожном хозяйстве, упрёк в нанесении такого крупного ущерба казне, казалось бы, должен быть обращён и к представителям Министерства Финансов и Государственного Контроля, допустившим подобное серьёзное нарушение интересов казны, то автор брошюры полагает, что «участие Государственного Контроля в казённой эксплуатации железных дорог, в той форме, как это имеет место в настоящее время, совершенно бесцельно удорожает эксплуатацию».

Резюмируя всё вышеизложенное, С. И. Мамонтов обращает внимание на некоторую ненормальность в самой структуре частных железнодорожных обществ, образованных по ныне действующим уставам, и высказывает своё мнение о желательных изменениях в условиях частного железнодорожного дела:

1) Частное железнодорожное хозяйство должно быть установлено на нормах подряда по постройке и договора об аренде, причём частное общество, являющееся строителем и арендатором дорог, должно вносить Правительству залоги в обеспечение исправного окончания строительных работ, а также ис-

[2] Естественно, что при такой задержке, даже при желании, нельзя ничего предпринять к улучшению дела, не видя реальных результатов постановки этого дела.

[3] На следующий год то же самое повторилось точь-в-точь, с одной только разницей, что казна потеряла совершенно напрасно 200000 руб.

правности арендной платы по эксплуатации дорог.

2) Необходимо установить самостоятельный железнодорожный фонд, средства которого не должны никуда расходоваться, кроме как на нужды железнодорожной сети. В этот фонд должны поступать суммы, полученные от обращения залогов частных обществ в соответствующие процентные Государственные бумаги.

Так как выгоды Правительства от введения такого рода изменений в существующий порядок частного железнодорожного хозяйства более чем очевидны, то, по мнению автора брошюры, нужно лишь коснуться вопроса, насколько приемлемы эти изменения для частных обществ.

Как полагает С. И. Мамонтов, «залоги общества можно образовать из складочного (акционерного) капитала, причём проценты, получаемые с бумаг, в которые обращены залоги, пойдут в доход по этому капиталу, т.е. в дивиденды по акциям.

В случае временной убыточности эксплуатации можно разрешить обществу должать по арендной плате за известные проценты; обращать залог на пополнение этого долга допускать лишь по истечении определённого количества времени после начала эксплуатации; расход залога пополнять, когда он дойдёт до 40–50 % первоначальной величины.

Чтобы уравнять общества, образуемые на проектируемых началах, со старыми по вопросу о пропорциональном делении дохода на акции и облигации, возможно предоставить новым обществам право отчисления из чистой прибыли в первую голову 2–3 % на складочный капитал».

Изложив вкратце сущность брошюры почтенного С. И. Мамонтова, не могу не сказать, что вопрос о железнодорожном хозяйстве в России крайне сложен не только в виде его обширности и разносторонности, но и из-за истёкшего полувекового периода, в течение которого хозяйство это налаживалось, расширялось и, наконец, вылилось в те формы, в которых находится ныне.

Так как железнодорожная моя служба протекла почти исключительно в тесных рамках ликвидационных расчётов по дорогам, перешедшим в казну, и совершенно не соприкасалась с внутренней железнодорожной жизнью, я затруднился бы высказать личное мнение по затронутому С. И. Мамонтовым вопросу.

Скажу лишь одно, что – дурно ли, хорошо ли, – но существующая много лет система железнодорожного хозяйства, несомненно, пустила слишком глубокие корни не только в ведомстве Путей Сообщения, но и в других ведомствах, связанных в подобных вопросах с названным Министерством: Государственный Контроль, Министерство Финансов и др., принимающих непосредственное участие в разрешении наиболее важных хозяйственных железнодорожных операций, сжились с налаженной системой, и потому не только коренное изменение её, но даже и частичная ломка, как, надо полагать, окажутся весьма нелёгкими, чтобы не сказать почти невозможными. Трудно ожидать, чтобы целые корпорации, сверху донизу, даже сознавая всю ненормальность условий, в которых вращается их многолетняя деятельность, с лёгким сердцем пошли навстречу коренной ломке, связанной с разрушением привычек и взглядов, усвоенных целыми поколениями прошлых и настоящих министерских деятелей. Несомненно и то, что масса чиновников-бюрократов явятся упорными противниками новых веяний уже и потому, что признают своё бессилие и неумение подчиниться новым течениям и воспринять их основы, т.е., говоря проще, сознают в душе необходимость – в случае коренных преобразований в ведомстве – уйти и дать место другим, более способным к восприятию новых взглядов лицам.

С этой-то точки зрения мне и представляется, что проводимая почтенным автором брошюры идея о необходимости отменить казённое строительство и эксплуатацию и отдать предпочтение частной предприимчивости, при всей её кажущейся правдивости и целесообразности, заставляет желать не только большей детальной её разработки, но, одновременно, и подробного мотивированного заключения со стороны железнодорожников-специалистов как сторонников, так и противников взглядов С. И. Мамонтова, о необходимости проведения в жизнь новых или изменённых начал железнодорожного хозяйства. Не следует забывать, что, наряду с печальными явлениями казённого хозяйства, приводимыми С. И. Мамонтовым, как, надо полагать, найдутся и хорошие её стороны. С другой стороны, нельзя игнорировать и дефекты частного хозяйства, на которые приходилось и приходится наталкиваться не только при приёме частных железных дорог в казну, но и при обычном нормальном биении железнодорожного пульса.

В. М.
(Железнодорожное дело. – 1910. – № 10. – С. 47–49) ●

DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-272-278



V. Serov. Portrait of Savva Mamontov. 1887.

The article reprinted from the Zheleznodorozhnoe delo (Rail Business) journal published 110 years ago reviews in detail the content of the brochure «On Railway Industry in Russia» edited by Savva Mamontov, one of the richest, well-known businessmen and benefactors of his time, who had got direct experience of managing construction and operation of railways. The brochure exposed the opinion of Savva Mamontov regarding numerous advantages of private railway construction contracting and further operation based on, speaking modern language, private-public partnership. The described advantages comprised speed of construction, rational cost policy, etc. The reviewer while agreeing with S. Mamontov on some issues insisted on more profound study of possible changes in traditional model of private and public railways that existed in Russia.

Keywords: railway, private entrepreneurship, business, Savva Mamontov, private-public partnership, history of railways.

For the original Russian text of the article please see p. 272.

Acknowledgments. The editorial board expresses its gratitude to the staff of the library of the Russian University of Transport for their kind assistance in preparing the publication.

Savva I. Mamontov on the Railway Industry in Russia

In recent years, various issues related to construction, operation and economy of our railways have been raised almost every day. Listening to the opinions of the Society and taking into account the current state of the railway business, the Ministry of Railways has made and is making a number of attempts to reconcile the established traditions with new trends, but first of all it tries, although, unfortunately, so far it is completely in vain, to get to the reasons for the constant railway shortage and establish that state-owned railways give the State a certain income...

In a number of different publications, touching upon certain issues of railway life, attention is drawn to a small brochure «On the railway economy in Russia», published by the famous railway and financial in the recent past, Savva Ivanovich Mamontov ... In this brochure, the venerable builder of Moscow-Yaroslavl-Arkhangelsk railway, setting out his views on the existing procedure for construction and operation of railway lines and pointing out the desirable, from his point of view, changes in this order, compares the private railway business with the state, and comes to the curious, not in favour of the treasury, conclusions.

For example, from the data given in the brochure[1] on the turnover cost of railways without rolling stock, payment of % and sales costs, it turns out that the average cost of one mile of state-owned railways (15 lines were taken, traffic on which was opened in 1899–1902) reached 57741 rubles, and the average cost of one verst of private railways (15 lines opened for use in 1897–1901 are also given) cost 48061 roubles, i.e., almost 20 % cheaper than the state ones.

Assuming that the technical strength of the railway during its construction both by state and private routes, with the existing control, will be identical, S. I. Mamontov concludes that the above economy in private construction is due solely to the managerial and economic efficiency of the builders, as well as to the absence of unnecessary bureaucracy and red tape, alien to any private economy...

With a state-owned building, the picture is completely different. Contracts with contractors and suppliers, concluded on the basis of an outdated provision on public contracts and supplies, which are outdated in all respects, seem clearly abnormal, because they do not at all protect the interests of counterparties, placing them at the full disposal of technical supervision,

[1] This information is taken from the report of the Department of Railway Affairs on August 30, 1903.

which, on the basis of the contract, can lead to large losses and even ruin a completely serviceable contractor. This circumstance, as well as the existing clerical formalism for issuing current payments and final settlements, which are sometimes received with huge delays, force counterparties, when setting prices for work, to increase those by more than 10 %, in proportion to the risk incurred and the need to invest capital, time whose returns are difficult to pinpoint (not to mention the possibility of going out with a lawsuit).

In addition to the above circumstances, the venerable author of the brochure draws the reader's attention to a sharp difference in the basic tasks of construction. A private society, building a road for the use of its society and being interested in, possibly, a cheaper operation of the line being carried out, tries to finish the construction not only as soon as possible (so as not to pay extra% for the construction time), but also with such a calculation that later – after traffic opening – no need occurs to complete or rebuild the road due to operation. The situation with state-owned railways is completely different, the construction of which is carried out by one department, and the operation by another, and the interests of the builder and the future chief of its operation can be very difficult to reconcile and compare. As an example, S. I. Mamontov points to Moscow Circular Railway, the commissioning of which began at the end of 1907 and lasted for about 2 years. With buildings of this category, in addition to paying interest on the building capital during construction (often due to construction delays, much more than it was assumed when the estimate was approved), it is required almost always to bear additional costs for bringing the constructed line into proper form, which, in general, not only increases the cost of construction by a huge amount, but also charges the treasury with extra multimillion-dollar costs of litigation and payments of all kinds.

Turning then to the existing foundations of railway operation, S. I. Mamontov emphasizes the economic and economic principles that underlie operation of private railways. The boards of such railways are made up of directors-shareholders, who post bail, personally interested in profitable conduct of business; the direct supervisor of technical operation, the engineer, the road manager, and other employees are interested in the profits of the society by awards, relatively large, given out in proportion to the profits of the operation. The administrative apparatus of the private society is mobile and sensitive. The permanent owner of the business – the Management Board, and in some cases the Management – always knows for sure whether the enterprise brings profit or loss and therefore has the full opportunity to take appropriate measures without delay. Having the nature of a commercial business, a private road tries to attract cargo and passengers in these types, observing its own interests; it simultaneously takes into account the interests of shippers and passengers, taking care of their convenience and the least possible formalism and constraints in settlements and relations with their customers.

State-owned operation is of a completely different, inert and irresponsible nature, due to mainly the fact that the role of the Board is played on state-owned roads by the Railways Administration, which consists of irresponsible officials, and instead of the responsible Line Manager – the Head of the Road, also placed within the framework of an official. Local railway administrations do not have time at all to think about shippers and passengers, for they are busy issuing and sending certificates, reviews and all kinds of information requested by countless instructions and circulars from various controlling and supervising institutions. In addition to the State Control, what other various things are controlled by the local railway administrations: the Treasury Chambers, the Treasury, and the Railway Administration ... What different statistical departments and inspector audits require from the railway administrations ... Due to the established procedures, the final result state-owned operation on the lines is found out many years later[2], and the calculation of the results of operation made from year to year by the State Control, as it turned out at the present time by the commission of General Petrov, does not correspond to the true state of affairs. With this order, it is not surprising if some uncovered deficits of previous years float up completely unexpectedly for business leaders, as happened with the former Minister Shaufus when the budget of the Ministry of Communications in the State Duma was considered...

Then, as in the case of state-owned buildings, due to all the above circumstances, during state-owned operation there are chronic overpayments for procurement of fuel and various materials at higher prices than in private operation, and the production of work – in comparison with private roads – is more expensive. The reason for this phenomenon is the same as in the case of buildings: clerical red tape, formalism and chronic delay in payments, either due to the indifferent attitude of the road agents to the case, sometimes due to excessively vigilant supervision by the State Audit Office, then, finally, simply due to earlier the loan spent by the Road Administration, from which it would be necessary to pay...

The venerable S. I. Mamontov reinforces all these conclusions with references to the facts he observed from the operational life of the Northern and some other state-owned railways. So, for example, large claims have already been filed against the treasury by oil suppliers (Nobel and Mazut firms) for the delay in payments for the delivery of this product to the roads. According to the calculation on January 1, 1909, the claims of the named companies extend to 10,000,000 roubles and for late payment to the treasury, it is likely that, in addition to legal costs, it will be required to pay an unproductively huge fine of 12 % per annum. It can be expected that if the oilmen manage to collect the aforementioned fine, they will undoubtedly try to collect fines for late payments and all other contractors and suppliers offended in this direction, which, of course, will cause large losses for the treasury ... Another curious fact from the field of formalism and a clear sign of chronic bureaucratic thoughtlessness, according to the author of the brochure, took place on the Northern Railways in 1905 or 1906. Competition was provoked for supply

[2] Naturally, with such a delay, even if one wishes, nothing can be done to improve the case without seeing the real results of setting up this case.

of oil residues, and not only the prices were higher than in the previous year, but, in addition, oilmen warned that if the announced prices were not approved, then in 2 weeks they would rise even more. Despite the fact that the statement was quite credible, since everyone was well aware that the entire oil business was in the strong hands of a group of firms linked by a syndicate, the announced prices were not approved by the Railways Administration. The same persons came to the second competition, but, as previously stated, the initial price was increased so that the treasury had to unproductively overpay more than 400,000 roubles[3]. Since in the given case, which is hardly possible in a private railway sector, the reproach for causing such large damage to the treasury, it would seem, should also be addressed to the representatives of the Ministry of Finance and State Control, who committed such a serious violation of the interests of the treasury, the author of the brochures believes that «participation of the State Control Office in the state-owned operation of the railways, in the form as it is at the present time, makes the operation more expensive completely aimlessly».

Summarizing the above, S. I. Mamontov draws attention to some abnormality in the very structure of private railway companies formed according to the current statutes, and expresses his opinion on the desired changes in the conditions of private railway business:

1) The private railway sector must be established on the basis of construction contracts and lease agreements, and the private company, which is the builder and leaseholder of the roads, must make deposits to the Government to ensure the correct completion of construction work, as well as serviceability of the rent for operation of roads.

2) It is necessary to establish an independent railway fund, the funds of which should not be spent anywhere except for the needs of the railway network. This fund should receive the amounts received from the circulation of pledges of private companies in the corresponding interest-bearing State securities.

Since the benefits of the Government from the adoption of such changes in the existing order of the private railway sector are more than obvious, then, according to the author of the brochure, it is only necessary to touch on the issue of how acceptable these changes are for private companies.

As S. I. Mamontov believes, «the company's pledges can be formed from the joint stock capital, and the interest received from the securities in which the pledges are turned will go to income on this capital, i.e. in dividends on shares.

«In the case of temporary unprofitable exploitation, the society can be allowed to owe rent for a certain interest; to pay a pledge to replenish this debt only after a certain amount of time has elapsed after the start of operation; the expense of the collateral should be replenished when it reaches 40–50 % of the original value».

«In order to equalize the companies formed on the projected basis, with the old ones, on the issue of the proportional division of income into shares and bonds, it will probably give the new companies the right to deduct from the net profit in the first place, 2–3 % on the joint capital».

Having briefly outlined the essence of the venerable S. I. Mamontov's brochure, I cannot but say that the issue of the railway economy in Russia is extremely complicated not only in the form of its vastness and versatility, but also because of the half-century that has elapsed, during which this economy was improving expanded and, finally, poured out into the forms in which it is now.

Since my railway service proceeded almost exclusively within the close framework of liquidation settlements on the roads that passed into the treasury, and did not at all come into contact with the internal railway life, I would find it difficult to express my personal opinion on the issue raised by S. I. Mamontov.

I will only say one thing, that – whether it is bad or good – but the system of railway economy that has existed for many years has undoubtedly taken too deep roots not only in the Department of Railways, but also in other departments related in such matters to the named Ministry: State Control, The Ministry of Finance and others, which is directly involved in resolving the most important economic railway operations, have gotten used to the well-established system, and therefore not only a radical change in it, but even a partial breakdown, as, presumably, will turn out to be very difficult, not to say almost impossible. It is difficult to expect that entire corporations, from top to bottom, even realizing abnormality of the conditions in which their long-term activities revolve, with a light heart will go towards a radical breakdown associated with destruction of the habits and attitudes that have been assimilated by whole generations of past and present ministerial officials. Undoubtedly, and the fact that the mass of bureaucratic officials will be stubborn opponents of new trends, even because they recognize their powerlessness and inability to obey new trends and perceive their foundations, i.e., to put it simply, they are aware of the need in their souls – in case of radical transformations in the department – to leave and give place to others, more capable of perceiving new views.

From this point of view, it seems to me that the idea of the need to abolish government construction and operation and give preference to private enterprise, for all its seeming truthfulness and expediency, pursued by the venerable author of the brochure, makes one want not only its more detailed development, but, at the same time, and a detailed reasoned conclusion on the part of railway specialists, both supporters and opponents of the views of S. I. Mamontov, on the need to implement new or changed principles of the railway economy. It should not be forgotten that, along with the sad phenomena of the state economy, cited by S. I. Mamontov, as, presumably, there are good sides to it. On the other hand, one cannot ignore the defects of the private economy, which had and still have to come up against, not only when the private railways were accepted into the treasury, but also during the usual normal beating of the railway pulse.

V. M.
(Zheleznodorozhnoe delo [Rail Business], 1910, No. 10, pp. 47–49) ●

[3] The next year, the same thing was repeated exactly, with the only difference that the treasury had lost 200,000 rubles in vain.

КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ • BIBLIO-DIRECTIONS

УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕВОЗКАМИ 280

Практика и теория оптимизации принятия решений: рецензия на книгу и мнение.

АВТОРЕФЕРАТЫ 284

• Техническая эффективность силовой аппаратуры управления устройствами железнодорожной автоматики и телемеханики.
• Оценка ресурса литых деталей тележек грузового вагона после возникновения усталостной трещины.
• Нагруженность ходовых частей вагонов и пути и увеличение осевых нагрузок на железных дорогах Республики Узбекистан.
• Дистанционный мониторинг транспортных потоков для проектирования улично-дорожной сети крупных городов.

НОВЫЕ КНИГИ 294

Недавно вышедшие книги и учебники российских и зарубежных издательств о транспорте.



TRAFFIC CONTROL MANAGEMENT 282

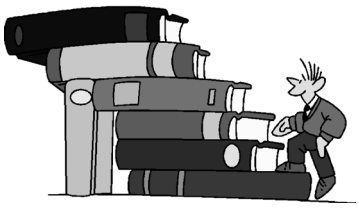
Practices and theory of optimisation of decision-making: review of a book and the opinion.

SELECTED ABSTRACTS OF D.SC. & PH.D. THESES 289

• Technical efficiency of power supply equipment for controlling the devices of railway automation and telemechanics.
• Load of carriage running gears and of track and increase in axle loads on the railways of the Republic of Uzbekistan.
• Evaluation of the resource of cast parts of freight wagon bogies after the occurrence of a fatigue crack.
• Remote monitoring of traffic flows for design of the road network of large cities.

NEW BOOKS 295

Scientific editions and textbooks recently offered by Russian and international publishers.



УДК 656.2.072(450+571)
DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-280-283

Управление перевозками: оптимизация решений



Шаров Виктор Александрович *– Российский университет транспорта, Москва, Россия*.*

Виктор ШАРОВ

Зябиров Х. Ш., Шапкин И. Н. Оптимизация принятия решений в управлении перевозочным процессом на железнодорожном транспорте (теория, практика, перспективы). – М.: Финансы и статистика, 2020. – 424 с. ISBN 978-5-279-03606-6.

В издании рассмотрены исторические вехи развития железнодорожного транспорта Российской Федерации. Представлены анализ его становления и основные направления развития на период до 2030 года. Авторами предложены предпочтительные модели и методы принятия решения по управлению перевозками на линейном уровне на станциях и участках. Описаны оптимальные модели принятия решений в области управления вагонным парком, технологией поездной и грузовой работы, методы и алгоритмы принятия решений по управлению локомотивным парком и локомотивными бригадами. Приведены методы и алгоритмы принятия решений в задачах прогнозирования (СЭМП) и нормирования (СЭМН) поездной и грузовой работы в системе «Дорожно-сетевой диспетчер», методы и модели принятия решений, обеспечивающих повышение уровня безопасности на железнодорожном транспорте. Предложены эффективные модели принятия решений управления перевозками в условиях полигонных технологий и методики оценки экономической эффективности принятия решений на основе развития интеллектуальных и цифровых технологий.

Ключевые слова: *железная дорога, управление перевозками, оптимизация, принятие решений, вагонный парк, локомотивные бригады, дорожно-сетевая диспетчеризация, безопасность на железнодорожном транспорте.*

---

*Информация об авторе:
Шаров Виктор Александрович – доктор технических наук, профессор Российского университета транспорта, Москва, Россия, ✉ vasharov_miit@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 10.12.2020, принята к публикации 22.01.2021.

For the English text of the article please see p. 282.

Работа Х. Ш. Зябирова и И. Н. Шапкина «Оптимизация принятия решений в управлении перевозочным процессом на железнодорожном транспорте (теория, практика, перспективы)» посвящена одному из важнейших вопросов в организации перевозочного процесса – оптимизации принятия решений в управлении перевозками на железнодорожном транспорте.

Актуальность рассматриваемых вопросов предопределяет тот факт, что книга написана в содружестве известного руководителя, имеющего большой практический опыт организации перевозок на железнодорожном транспорте, и профессора кафедры управления эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте Российского университета транспорта.

Как бывшие ученики авторы посвятили её своему учителю, профессору и ректору МИИТ Кочневу Фёдору Петровичу и коллективу профессорско-преподавательского состава кафедры «Управление эксплуатационной работой».

Содержание книги включает вопросы оптимизации принятия решений при организации перевозочных процессов на всех уровнях управления.

В работе представлены исторические вехи развития железнодорожного транспорта Российской Федерации, сформулированы основные направления развития на период до 2030 года и тенденции мирового развития железнодорожного транспорта.

Удачно описана последовательность оптимизации принятия решений по управлению на технических станциях и вспомогательным поездом на сети железных дорог. Представлены оптимальные модели принятия решений, связанных с технологической поездной работой на участках и направлениях сети железных дорог.

Значимое место в книге занимают вопросы оптимизации принятия решений по управлению локомотивным поездом и использованием локомотивных бригад. Представлены методики сменно-суточного планирования и размещения ряда локомотивов парка и технического планирования использования локомотивных бригад. Сформулированы критерии качества технического планирования по «ниткам» графика движения поездов.

Важное место в книге занимают вопросы разработки методов и моделей принятия решений в целях повышения уровня безопасности на железнодорожном транспорте, а также внедрения эффективных моделей принятия управленческих решений в целях внедрения новых технологий. Представлены теории и перспективные направления развития научно-технических исследований в области развития эксплуатационной работы железнодорожного транспорта.



Особенностью данной книги является освещение вопросов развития железнодорожных транспортных систем, внедрения цифровых технологий на железнодорожном транспорте. Экономическая эффективность принятий решений управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте представлена логистической моделью выполнения плана по реализации инвестиционного проекта «Восточный полигон». В приложении представлены перечни различных приёмов, применяемых на станциях, в грузовой, транспортной и местной работе.

Уверен, что научное издание «Оптимизация принятия решений в управлении перевозочным процессом на железнодорожном транспорте (теория, практика, перспективы)» несомненно будет полезным. Книга содержит новые знания и технологические решения и поможет разработчикам, научным работникам, специалистам, а также аспирантам, магистрантам и студентам транспортных вузов, специализирующимся в области эксплуатации железнодорожного транспорта, эффективного управления, создания новых оптимальных решений по управлению перевозочным процессом на железнодорожном транспорте.

DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-280-283

Decision-Making Optimisation in Traffic Control Management



Sharov, Victor A., *Russian University of Transport, Moscow, Russia*.*

Victor A. SHAROV

Zyabirov, Kh. Sh., Shapkin, I. N. Optimisation of decision-making in railway traffic control management (theory, practice, prospects) [Optimizatsiya prinyatiya reshenii v upravlenii perevozochnym protsessom na zheleznodorozhnom transporte (teoriya, praktika, perspektivy)]. Moscow, Finansy i statistika publ., 2020, 424 p. ISBN 978-5-279-03606-6.

The book under review examines the historical milestones in development of railway transport in the Russian Federation, analyses its rise and main directions of development in the forthcoming period and up to 2030. The authors propose preferable models and methods for decision-making regarding traffic control at the level of stations and sections, describe optimal management decision-making regarding wagon fleet and technology of train and cargo operation, methods and algorithms for decision-making referring to management of locomotive fleet and locomotive crews. Heuristic methods and algorithms for decision-making while solving the problems of forecasting and standardisation of train and cargo operation are studied regarding railway and network dispatching. Methods and models of decision-making ensuring an increase in railway safety are also examined. The examples concern efficient models of decision-making in traffic controlling in the context of network technologies and methods for assessing the economic efficiency of decision-making based on development of intelligent and digital technology.

Keywords: *railway, traffic control, wagon fleet, locomotive crews, railway and network dispatching, railway safety.*

*Information about the author:
Sharov, Victor A. – D.Sc. (Eng), Professor of Russian University of Transport, Moscow, Russia,
✉ vasharov_miit@mail.ru.

Article received 10.12.2020, accepted 22.01.2021.

For the original Russian text of the article please see p. 280.

The work of Kh. Sh. Zyabirov and I. N. Shapkin entitled «Optimisation of decision-making in railway traffic control management (theory, practice, prospects)» is devoted to one of the most important issues in organisation of the transportation process which is optimisation of decision-making in railway traffic control management.

The relevance of the issues under consideration is predetermined by the fact that the book has been written in collaboration of a senior executive manager experienced in organisation of railway transportation and a professor at the department of operations management and transport safety of Russian University of Transport.

As former disciples, the authors dedicated the book to their teacher, Fedor P. Kochnev, professor and rector of MIIT University, and the teaching staff of the department of operations management.

The book considers the issues of optimisation of decision-making at all levels of management regarding transportation processes.

The work presents the historical milestones in development of railway transport in the Russian Federation, formulates main directions of development for the period up to 2030 and trends in global railway developments.

It is worth to note the successful description of sequence of optimisation of decision-making in control processes regarding technical stations, relief trains, etc. Described optimal decision-making models concern technological train operation on railway sections and network segments.

A significant place is dedicated to optimisation of decision-making regarding management of locomotive trains and the use of locomotive crews. Presented methods consider daily shift planning, placement of a row of locomotives of a station's fleet, and technical planning of the use of locomotive crews. Criteria for quality of technical planning are studied in relationship with the graphs of the train traffic schedule chart.

The book highlights the topics of importance of development of methods and models of



decision-making focused on improving of railway safety, as well as of adoption of effective models of decision-making to adopt new technology supported by the review of theories and promising fields of development of scientific and technical research on railway operations.

A feature of this book is the coverage of development of railways as of railway transport systems, of adoption of digital technologies. The economic efficiency of decision-making in railway traffic control management is shown at the example of the logistic model of implementation of the plan for implementation of the Eastern Polygon investment project. The appendix contains lists of various techniques applied at stations while performing cargo, traffic, and local operations.

I am sure that this scientific edition will undoubtedly be useful. The book contains new knowledge and technological solutions and will help developers, scientists, specialists, as well as Ph.D. students, master's students and students at transport universities specialising in railway operations, effective management, development of new optimal solutions in managing the railway transportation process. ●

АВТОРЕФЕРАТЫ ДИССЕРТАЦИЙ

Selected abstracts of D.Sc. and Ph.D. theses submitted at Russian transport universities

For the English text please see p. 289.

DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-284-293

Ковкин А. Н. Методы и модели обеспечения технической эффективности силовой аппаратуры управления устройствами железнодорожной автоматики и телемеханики / Автореф. дис… док. техн. наук. – СПб.: ПГУПС, 2020. – 32 с.

Микропроцессорные системы железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) представляют собой совокупность вычислительных средств и силовой аппаратуры управления, центральным звеном которой являются устройства сопряжения с объектами (УСО). Ключевой особенностью систем автоматики, непосредственно управляющих стрелками и сигналами, являются высокие требования к безопасности в условиях возникновения внутренних отказов аппаратуры и воздействия внешних дестабилизирующих факторов. Современные тенденции развития систем предусматривают расширение функций, связанных с мониторингом исполнительных объектов, что требует реализации соответствующих решений на уровне аппаратных средств. Указанные факторы являются причиной повышенной сложности силовой аппаратуры управления. В результате конкурентоспособность новых систем ЖАТ и экономический эффект, достигаемый в результате замены релейных систем микропроцессорными аналогами, в значительной степени связаны с техническим уровнем указанной аппаратуры. Это определяет необходимость комплексного подхода к оценке эффективности аппаратных средств, развития методов количественного анализа эффективности, разработки практических способов построения высокоэффективной силовой аппаратуры.

Объектом исследования является силовая аппаратура управления исполнительными объектами ЖАТ, а предметом исследования – методы количественной оценки и способы повышения уровня технической эффективности силовой аппаратуры, обеспечивающей непосредственное управление исполнительными объектами.

Целью исследования является разработка методов количественной оценки эффективности силовой аппаратуры, осуществляющей управление объектами ЖАТ, а также способов практической реализации высокоэффективных аппаратных средств.

На основании исследований, выполненных в диссертационной работе, получены следующие основные результаты:

1. Определено понятие силовой аппаратуры управления и произведён анализ существующих концепций построения безопасной аппаратуры сопряжения с объектами.

2. Сформулированы частные критерии технической эффективности аппаратных средств, определена роль безопасности как определяющего критерия, обоснована необходимость анализа параметрической безопасности технических средств, а также предложена система показателей технической эффективности.

3. Предложена методика расчёта остаточных напряжений на светофорных излучателях в условиях использования синусоидальных напряжений, основанная на использовании ёмкостных моделей кабельных линий и метода эквивалентного генератора, а также произведена количественная оценка остаточных напряжений на светофорных излучателях для кабеля парной скрутки в случае нарушения баланса ёмкостного моста.

4. Разработана методика расчёта остаточных напряжений на светофорных лампах в условиях несинусоидальных воздействий путём гармонического анализа с учётом ёмкостных и резистивных параметров линии.

5. В результате исследований установлено, что безопасное управление станционными светофорами в случае наличия в кабельной сети несинусоидальных напряжений может обеспечиваться за счёт понижения напряжения на выходе УСО и упорядоченного использования кабельных жил.

6. Установлено, что надлежащий уровень безопасности при бесконтактном управлении светофорами в условиях возникновения неисправностей кабельных линий обеспечивается наличием трансформаторов в составе преобразовательных схем и отказом от ис-

пользования общих проводов для нескольких сигнальных показаний.

7. Предложена модель для расчёта энергопотребления и токовой нагрузки, основанная на понятиях собственной и объектной составляющей энергетических параметров.

8. Произведён количественный анализ безопасности различных схем источников питания, предложены методы повышения безопасности и разработаны эффективные способы реализации питания УСО от шин постоянного и переменного тока.

9. Выполнена количественная оценка эффективности контроля фактического горения сигнальных показаний путём измерения величины тока в выходной цепи устройств управления и разработана методика расчёта изменения тока в цепи управления светодиодными излучателями при возникновении отказов светодиодных матриц.

10. Предложен способ безопасной реализации контроля холодной нити путём импульсного воздействия и определены основные параметры тестирующих импульсов, обеспечивающих эффективную реализацию контроля в условиях протяжённых линий.

11. Разработано устройство, обеспечивающее контроль целостности рабочей цепи стрелочного привода с трёхфазным асинхронным двигателем путём контроля протекания постоянного тока.

12. Предложены технические решения, осуществляющие безопасное управление напольными объектами путем использования малогабаритных реле с жёстко связанными контактными группами.

13. Разработано устройство, реализующее безопасную логическую обработку сигналов в дублированной структуре управления путём использования преобразовательных схем.

14. Разработана бесконтактная аппаратура управления светофорами и стрелками, основанная на использовании преобразовательных схем и содержащая схемные решения, обеспечивающие контроль холодных нитей светофорных ламп и контроль целостности рабочей цепи электроприводов.

15. В результате комплексной оценки устройств сопряжения установлено, что бесконтактная аппаратура управления светофорами является эффективным решением в случае питания устройств от шины постоянного тока, а бесконтактную аппаратуру управления асинхронными двигателями целесообразно использовать при любой концепции построения УЭП.

Актуальным направлением последующих практических разработок следует считать создание высокоэффективной аппаратуры управления различными типами светодиодных излучателей и вентильными двигателями ЭМСУ для стрелочных электроприводов.

05.22.08 – Управление процессами перевозок.

Работа выполнена в Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I.

Защита состоялась в Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I.

Расщепкина Д. В. Оценка ресурса литых деталей тележек грузового вагона после возникновения усталостной трещины / Автореф. дис… канд. техн. наук. – СПб.: ПГУПС, 2020. – 16 с.

Требования повышения эффективности работы железнодорожного транспорта ведёт к увеличению протяжённости гарантийных участков безопасного следования подвижного состава и сокращению простоев на технических станциях. Достижение таких целей требует от разработчиков элементов ходовых частей вагонов, в частности боковых рам и надрессорных балок, уточнённых методик прогнозирования запаса усталостной прочности, оценки ресурса детали после возникновения трещины. Несмотря на имеющиеся достижения науки и технологии производства, усилия работников вагонного хозяйства по контролю технического состояния тележек в эксплуатации, ежегодно наблюдаются случаи сходов вагонов по причине изломов литых боковых рам. Поэтому вопросы прогнозирования ресурса литых деталей тележек после возникновения усталостных трещин являются актуальными.

Объект исследования: литые боковые рамы и надрессорные балки тележек грузового вагона.

Предмет исследования: ресурс литых деталей тележек грузового вагона после возникновения усталостной трещины.

Целью диссертационной работы является прогнозирование пробега грузового вагона после возникновения усталостной трещины в литой несущей детали тележки за счёт

решения научной задачи оценки ресурса детали с учётом стадии «зарождение усталостной трещины – предельный излом».

В диссертационной работе изложено решение научной задачи оценки ресурса литых деталей тележки грузового вагона после возникновения усталостной трещины, обеспечивающее повышение эффективности проектирования новых и модернизации существующих конструкций деталей.

Выполнен обзор и анализ работ в области исследования трещиностойкости литых сталей. Рассмотрены аналитические и экспериментальные методы расчёта параметров трещиностойкости. Проанализированы методы оценки и расчёта ресурса деталей с трещиной. Установлена необходимость прогнозирования ресурса литых рам и балок после возникновения опасного отказа.

По результатам анализа данных по изломам боковых рам и надрессорных балок тележек грузовых вагонов, произошедших в период с 2006 по 2018 гг., определена геометрия усталостной трещины, установлены зависимости её геометрических параметров, получены интервалы распределения площадей трещин относительно сечений изломов.

Разработана методика определения критической длины (относительной площади) трещины в литых деталях тележек грузовых вагонов и алгоритм моделирования её роста в универсальной программной системе конечно-элементного анализа ANSYS.

Разработаны КЭ модели литых боковых рам и надрессорной балки с трещиной, учитывающие особенности распределения поля напряжения в окрестности её вершин, позволяющие выполнить уточнённый расчёт параметров трещиностойкости.

Выполнен расчёт параметров трещиностойкости боковых рам с трещиной. Получены зависимости длин и относительных площадей усталостных трещин от КИН (K_I). Определены критические длины усталостных трещин исследуемых рам после 13 и 25 лет эксплуатации. Потеря несущей способности рамы усл. № 1 наступает при достижении усталостной трещиной длины 210 мм (25 % от площади сечения) и 135 мм (17 %) после 13 и 25 лет эксплуатации. Для боковых рам усл. № 2 и усл. № 3 критическая длина трещины 295 мм (34 %), 185 мм (23 %) и 285 мм (45 %), 185 мм (31 %) после 13 и 25 лет эксплуатации соответственно. Расчётные значения относительной площади усталостной трещины для боковой рамы с усл. № 1 верифицированы результатами анализа данных по изломам в эксплуатации.

Уточнена методика экспериментального определения K_I и циклической вязкости разрушения (K_{fc}) литой детали тележки грузового вагона с трещиной при статическом нагружении после циклической наработки, за счёт предварительного расчёта размера зон пластических деформаций. Опытным путём определены значения K_I с развитием длины усталостной трещины от 41 до 220 мм. Установлена критическая длина усталостной трещины надрессорной балки 220 мм и K_{fc} = 72 МПа$\sqrt{м}$.

Получена зависимость деградации Kfc от срока службы несущих литых деталей ходовых частей, позволяющая прогнозировать эквивалентный срок службы исследуемой детали с критической усталостной трещиной. Прогнозируемое значение Kfc для литой стали 20ГЛ, 20ГФЛ после 32 лет эксплуатации 45 МПа$\sqrt{м}$.

Разработан алгоритм расчёта ресурса литой несущей детали тележки грузового вагона для стадии «зарождение трещины – предельное состояние» на основе модели деградации механических свойств и K_{fc} стали 20ГЛ, 20ГФЛ.

Предложен способ формирования блоков нагружений детали из сочетаний вертикальных, продольных и поперечных сил, возникающих при движении состава в прямых и кривых участках пути, рывках и ударах.

Выполнен расчёт ресурса конструкции боковой рамы после возникновения усталостной трещины во внутреннем углу буксового проема при действии эксплуатационных нагрузок. В результате расчёта определено число циклов до появления трещины длиной 10 мм, число циклов до потери несущей способности, относительная живучесть, предельная длина и площадь усталостной трещины, скорость её развития. Потеря несущей способности детали с трещиной наступает после 498 тыс. циклов нагружений, относительная живучесть боковой рамы – 0,062. Предельная длина усталостной трещины составляет 60 мм, занимаемая площадь от общего сечения излома 6,35 %. Скорость развития трещины изменяется с ростом трещины с 0,2260 мм^2/тыс. циклов до 31,4942 мм^2/тыс. циклов.

Рассчитан пробег гружёного вагона после образования усталостной трещины в боковой раме. Пробег вагона при устойчиво развивающейся усталостной трещине длиной от 10 мм до 60 мм составляет 1,398 тыс. км.

Сравнение результатов расчёта с данными выборки по изломам боковых рам за период с 2006 по 2018 гг. позволяет сделать вывод о корректности разработанных методов расчёта критических длин усталостных трещин, ресурса деталей и пробега вагона. Применение методов на стадии проектирования позволит оценить работоспособность новой или модернизируемой конструкции литой боковой рамы (балки надрессорной) после возникновения усталостной трещины, а также дать рекомендации по установлению габаритных плеч.

05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация.

Работа выполнена в Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I.

Защита состоялась в Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I.

Рахимов Р. В. Нагруженность ходовых частей вагонов и пути и обоснование возможности увеличения осевых нагрузок на железных дорогах Республики Узбекистан / Автореф. дис… док. техн. наук. – СПб.: ПГУПС, 2020. – 32 с.

Важнейшим звеном в формировании и развитии экономики Республики Узбекистан являются железные дороги. Железнодорожный транспорт, работая в тесной взаимосвязи с другими отраслями народного хозяйства республики, с момента создания и по сей день, непрерывно развивается и совершенствуется. Несмотря на возможность массовых перевозок грузов и технико-экономические преимущества в условиях Республики Узбекистан над другими видами наземного транспорта за прошедшее десятилетие доля железнодорожного транспорта в общем объёме грузовых перевозок и грузообороте снизилась.

В настоящее время для повышения эффективности железнодорожного транспорта в реализации экспортного и транзитного потенциалов Республики Узбекистан при ограниченных длинах приёмо-отправочных путей на станциях страны наиболее перспективным является внедрение в эксплуатацию подвижного состава с увеличенными осевыми нагрузками. Однако при этом возрастает воздействие подвижного состава на железнодорожный путь, поэтому актуальной областью исследования является динамическое взаимодействие подвижного состава и железнодорожного пути, что необходимо для обоснования возможности повышения осевых нагрузок подвижного состава на железных дорогах Республики Узбекистан.

Объектом исследования являются ходовые части вагонов и железнодорожный путь. Предметом исследования является нагруженность ходовых частей вагонов и железнодорожного пути при динамическом процессе взаимодействия подвижного состава и пути.

Целью диссертационной работы является разработка научно обоснованных технических и технологических решений по измерению динамических процессов взаимодействия подвижного состава и железнодорожного пути для обоснования возможности увеличения осевых нагрузок подвижного состава на железных дорогах Республики Узбекистан.

05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация.

Работа выполнена в Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I.

Защита состоялась в Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I.

Тимоховец В. Д. Совершенствование методов дистанционного мониторинга транспортных потоков для проектирования улично-дорожной сети крупных городов / Автореф. дис… канд. техн. наук. – Омск: ТИУ, 2020. – 21 с.

Использование методов получения данных о состояниях транспортного потока, применимых для отдельно взятой улицы, не отвечает требованиям современных городов. Появляется необходимость разработки оперативного метода получения информации с минимальными ресурсными затрата-

ми и исследования возможности проектирования улично-дорожной сети на основе метода дистанционного мониторинга транспортных потоков, основанного на дешифровке онлайн-снимков с применением Интернет-ресурсов. В диссертации автором сравниваются методы изучения транспортных потоков, в которых выявлено отсутствие детального исследования улично-дорожной сети как сетевого объекта.

Основная идея работы состоит в теоретическом и экспериментальном обосновании и совершенствовании методов дистанционного мониторинга транспортных потоков для проектирования улично-дорожных сетей крупных городов.

Объектом исследования являются параметры транспортного потока, обосновывающие проектные решения по проектированию улично-дорожной сети.

Предмет исследования – совершенствование методов повышения эффективности функционирования транспортных сооружений, удобства, безопасности и экологичности движения.

Целью диссертационной работы является совершенствование методов дистанционного мониторинга транспортных потоков для проектирования улично-дорожной сети крупных городов.

Теоретико-методологической базой являются постулаты теории транспортных потоков. Они заключаются в анализе режимов движения автомобилей в различных дорожных условиях с учётом их динамических возможностей, состава транспортного потока и психофизиологических особенностей водителей. В проведённых исследованиях применялись теоретический и расчётно-аналитический методы исследования.

Анализ применимости методов мониторинга и научных трудов по теории транспортных потоков позволил сформулировать актуальность рассматриваемой проблемы, подтвердить необходимость получения репрезентативных данных о параметрах транспортных потоков при рассмотрении города как сетевого объекта. Обоснована необходимость интеграции нескольких методов дистанционного мониторинга: аппаратно-ресурсных методов и разработки математической зависимости преобразования статической картины в динамическую с возможностью учёта объективных параметров улично-дорожной сети.

Установлен вид функции, который с наименьшей погрешностью (до 13,21 %) определяет уравнение транспортных потоков для каждого из разработанных типов улиц. Определена зависимость масштаба от разрешающей способности спутниковых снимков с целью идентификации транспортных потоков по составу. Разработана типизация улиц и городских дорог, классифицирующая транспортные и дорожные факторы, а также демонстрирующая особенности распределения интенсивности в течение суток для более точного её определения. Выбраны значимые факторы, влияющие на изменение параметров транспортного потока, и разработана модель, учитывающая особенности жизненного цикла каждого сетевого объекта, полосность и состояние покрытия проезжей части.

Впервые разработаны мультипараметрические зависимости по определению интенсивности движения, учитывающие транспортные, дорожные и метеорологические факторы. Выполнено сравнение расчётных и фактических значений интенсивности, полученных методом видеонаблюдения по критерию аппроксимации, который демонстрирует работоспособность разработанных зависимостей, повышающих полноту и достоверность информации.

Разработан программный продукт, позволяющий автоматизировать процессы по определению параметров транспортных потоков на улично-дорожной сети крупных городов для реконструкции существующих объектов, строительства улиц-дублёров и организации дорожного движения на улицах и городских дорогах.

Направлениями и перспективами дальнейшего исследования являются разработка метода экспресс-типизации не исследованных улиц и адаптация выявленных зависимостей с целью их применения на улицах с нерегулярным движением.

05.23.11 – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей.

Работа выполнена в Тюменском индустриальном университете.

Защита состоялась в Сибирском государственном автомобильно-дорожном университете (СибАДИ). ●

SELECTED ABSTRACTS OF D.Sc. and Ph.D. THESES

Selected abstracts of D.Sc. and Ph.D. theses submitted at Russian transport universities

For the original Russian text please see p. 284.

DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-284-293

Kovkin, A. N. Methods and models for ensuring the technical efficiency of power equipment for controlling of devices of railway automation and telemechanics. Abstract of D.Sc. (Eng) thesis [*Metody i modeli obespecheniya tekhnicheskoi effektivnosti silovoi apparatury upravleniya ustroistvami zheleznodorozhnoi avtomatiki i telemekhaniki. Avtoref. dis... doc. tekh. nauk*]. St. Petersburg, PGUPS publ., 2020, 32 p.

Microprocessor systems of railway automatics and telemechanics (RAT) are a set of computing facilities and power control equipment, the central link of which is object interface device (OID). The key features of automation systems that directly control switches and signals are high safety requirements meeting internal equipment failures and the impact of external destabilising factors. Modern trends in development of systems provide for expansion of functions related to monitoring of executive objects, which requires the implementation of appropriate solutions at the hardware level. These factors are the reason for increased complexity of the power control equipment. As a result, competitiveness of new RAT systems and the economic effect achieved because of replacing relay systems with microprocessor analogues are largely related to the technical level of the specified equipment. This determines the need for an integrated approach to assessing the effectiveness of hardware, development of methods for quantitative analysis of efficiency, development of practical methods for constructing highly efficient power equipment.

The object of the research is the power equipment for controlling executive objects of RAT, and the subject of research is associated with the methods of quantitative assessment and of increasing the level of technical efficiency of the power equipment, which provides direct control of the executive objects.

The objective of the research is to develop methods of quantitative assessment of the effectiveness of power equipment that controls RAT objects, as well as methods for practical implementation of highly efficient hardware.

Based on the research carried out in the thesis, the following main results were obtained:

1. The concept of power control equipment has been defined and the analysis of the existing concepts of constructing safe equipment for interfacing with objects has been carried out.

2. Criteria of the technical efficiency of hardware are formulated, the role of safety as of a determining criterion is determined, the need to analyse parametric safety of hardware is substantiated, and a system of indicators of technical efficiency is proposed.

3. A method is proposed for calculating residual voltages at traffic light emitters under conditions of using sinusoidal voltages, based on the use of capacitive models of cable lines and the method of an equivalent generator, followed also by a quantitative assessment of residual voltages at traffic light emitters for a pair of twisted cables in case of imbalance of a capacitive bridge.

4. A method has been developed for calculating residual voltages in traffic lights under non-sinusoidal influences by means of harmonic analysis, considering capacitive and resistive parameters of the line.

5. As a result of research, it has been established that safe control of station traffic lights in case of non-sinusoidal voltages in the cable network can be ensured by lowering the voltage at the output of OID and the orderly use of cable cores.

6. It has been established that the proper level of safety in contactless control of traffic lights under the conditions of malfunctioning of cable lines is ensured by the presence of transformers as part of conversion circuits and the refusal to use common wires for several signal indications.

7. A model is proposed for calculating energy consumption and current load, based

on the concepts of intrinsic and object components of energy parameters.

8. A quantitative analysis of safety of various power supply circuits has been carried out, methods have been proposed to increase safety, and effective ways have been developed to implement the power supply of OID from DC and AC buses.

9. Quantitative assessment of the effectiveness of control of the actual lighting of signal indicators by measuring the current in the output circuit of control devices has been carried out, and a method has been developed for calculating the change in current in the control circuit of LED emitters in case of failure of LED matrices.

10. A method for safe implementation of control of a cold thread by means of impulse action is proposed, and main parameters of testing impulses are determined, which ensure effective implementation of control in conditions of extended lines.

11. A device has been developed to monitor integrity of the operating circuit of a switch drive with a three-phase asynchronous motor by monitoring the flow of direct current.

12. The proposed technical solutions for safe control of floor objects by using small-sized relays with rigidly connected contact groups.

13. A device has been developed that implements safe logic signal processing in a duplicated control structure by using conversion circuits.

14. Non-contact equipment for control of traffic lights and switches has been developed, based on the use of conversion circuits, and containing circuit solutions that provide control of cold filaments of traffic lights and control of integrity of the working circuit of electric drives.

15. As a result of comprehensive assessment of interface devices, it was found that contactless traffic light control equipment is an effective solution in the case of devices being powered from a DC bus, and contactless control equipment for asynchronous motors is advisable to use for any concept of constructing devices of electric power supply.

The actual direction of subsequent practical developments should be focused on creation of highly efficient control equipment for various types of LED emitters and valve motors for switch actuators.

05.22.08 – Traffic control management.

The work was performed and the defence took place at Emperor Alexander I Petersburg State Transport University.

Rakhimov, R. V. Load of carriage running gears and of track and substantiation of the possibility of increasing axle loads on the railways of the Republic of Uzbekistan. Abstract of D.Sc. (Eng) thesis [*Nagruzhennost' khodovykh chastei vagonov i vozmozhnosti uvelicheniya osevykh nagruzok na zheleznykh dorogakh Respubliki Uzbekistan. Avtoref. dis... doc. tekh. nauk*]. St. Petersburg, PGUPS publ., 2020, 32 p.

Railways are among most important elements in structuring and development of the economy of the Republic of Uzbekistan. Railway transport, working in close relationship with other sectors of the national economy of the Republic, from the moment of its creation to the present day, has been continuously developing and improving. Despite possibilities for mass transportation of goods and technical and economic advantages over other modes of inland transport in the conditions of the Republic of Uzbekistan, the share of railway transport in the total volume of freight traffic and freight turnover has decreased over the past decade.

Currently, to increase the efficiency of railway transport in implementation of the export and transit potential of the Republic of Uzbekistan with limited lengths of receiving and departure tracks at the stations of the country, the most promising way is putting into operation of rolling stock with increased axle loads. However, at the same time, the impact of rolling stock on the railway track increases, therefore, the actual area of research is dynamic interaction of rolling stock and the railway track to substantiate the possibility of increasing the axle loads of rolling stock on railway network of the Republic of Uzbekistan.

The object of research is running gears of carriages and the railway track. The subject of research is loading of carriages and railway tracks during the dynamic process of interaction between rolling stock and track.

The objective of the thesis is development of scientifically based technical and technological solutions for measuring dynamic processes of interaction between rolling stock and the railway track to substantiate the possibility of increasing axial loads of rolling stock on railways of the Republic of Uzbekistan.

05.22.07 – Railway rolling stock, train traction and electrification.

The work was performed and the defence took place at Emperor Alexander I Petersburg State Transport University.

Raschepkina, D. V. Evaluation of the resource of cast parts of freight wagon bogies after the occurrence of a fatigue crack. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [*Otsenka resursa litykh detalei telezhek gruzovogo vagona posle vozniknoveniya ustalostnoi treshchiny. Avtoref. dis... kand. tekh. nauk*]. St. Petersburg, PGUPS publ., 2020, 16 p.

Requirements for increasing the efficiency of railway transport led to an increase in the length of guaranteed sections for safe movement of rolling stock and a reduction in downtime at technical stations. Achievement of such goals requires from developers of elements of running gears of wagons, in particular side frames and bolsters, refined methods for predicting the fatigue strength margin, and assessing the resource of the part after a crack. Despite available achievements of science and production technology, the efforts of the employees of the wagon divisions to control the technical condition of bogies in operation, there are cases of derailments of wagons every year due to fractures of the cast side frames. Therefore, the issues of predicting the resource of cast parts of bogies after the occurrence of fatigue cracks are relevant.

Object of the research: cast side frames and bolsters of freight wagon bogies.

Subject of the research: the resource of cast parts of freight wagon bogies after the occurrence of a fatigue crack.

The objective of the thesis is to predict the mileage of a freight wagon after the occurrence of a fatigue crack in a cast bearing part of a bogie by solving the scientific problem of assessing the resource of a part considering the stage «initiation of a fatigue crack – ultimate fracture».

In the thesis, the solution of the scientific problem of assessing the resource of cast parts of a freight wagon bogie after the occurrence of a fatigue crack is presented, which provides an increase in the efficiency of designing new and modernising existing structures of parts.

A review and analysis of works in the field of investigation of crack resistance of cast steels is carried out. Analytical and experimental methods for calculating the parameters of crack resistance are considered. Methods for assessing and calculating the resource of parts with a crack are analysed. The necessity of predicting the resource of cast frames and beams after the occurrence of a dangerous failure has been established.

Based on the results of the analysis of data on fractures of side frames and bolsters of freight wagon bogies that occurred in the period from 2006 to 2018, the geometry of the fatigue crack was determined, the dependences of its geometric parameters were established, and the distribution intervals of the crack areas relative to the fracture sections were obtained.

A method is developed for determining the critical length (relative area) of a crack in cast parts of freight wagon bogies and an algorithm for modelling its growth in the ANSYS universal software system for finite element analysis.

FE models of cast side frames and bolster with a crack have been developed, considering the peculiarities of the stress field distribution in the vicinity of its vertices, allowing to perform an updated calculation of the parameters of crack resistance.

The calculation of the parameters of crack resistance of side frames with a crack has been performed. The dependences of lengths and relative areas of fatigue cracks on the recovery

factor (K_I) are obtained. The critical lengths of fatigue cracks in the frames under study after 13 and 25 years of operation have been determined. Loss of bearing capacity of the frame conv. No. 1 occurs when the fatigue crack reaches a length of 210 mm (25 % of the cross-sectional area) and 135 mm (17 %) after 13 and 25 years of operation. For side frames conv. No. 2 and conv. No. 3 critical crack length 295 mm (34 %), 185 mm (23 %) and 285 mm (45 %), 185 mm (31 %) after 13 and 25 years of operation, respectively. The calculated values of the relative area of the fatigue crack for the side frame with conv. No. 1 is verified by the results of analysis of data on fractures in operation.

The method of experimental determination of K_1 and cyclic fracture toughness (K_{fc}) of a cast part of a freight wagon bogie with a crack under static loading after cyclic operating time has been refined, due to a preliminary calculation of the size of plastic deformation zones. The K_I values were experimentally determined with development of the fatigue crack length from 41 mm to 220 mm. The critical length of the fatigue crack of the bolster is determined to be 220 mm and.

The dependence of degradation K_{fc} on the service life of the bearing cast parts of the undercarriage is obtained, which makes it possible to predict the equivalent service life of the studied part with a critical fatigue crack. Predicted K_{fc} value for cast steel 20GL, 20GFL after 32 years of operation.

An algorithm was developed for calculating the resource of a cast bearing part of a freight wagon bogie for the stage «crack initiation – limiting state» based on the model of degradation of mechanical properties and K_{fc} of steel 20GL, 20GFL.

A method is proposed for formation of load blocks of parts through combinations of vertical, longitudinal and transverse forces arising from movement of the train in straight and curved track sections, jerks and impacts.

The calculation of the resource of the side frame structure after the occurrence of a fatigue crack in the inner corner of the axle-box opening under the action of operational loads has been carried out. As a result of the calculation, the number of cycles until the appearance of a crack with a length of 10 mm, the number of cycles until the loss of bearing capacity, relative survivability, limiting length and area of a fatigue crack, and the rate of its development were determined. The loss of the bearing capacity of a part with a crack occurs after 498 thousand loading cycles, the relative survivability of the side frame is 0,062. The limiting fatigue crack length is 60 mm, the occupied area of the total fracture section is 6,35 %. The crack growth rate changes with crack growth from 0,2260 mm^2/thous. cycles up to 31,4942 mm^2/thous. cycles.

The mileage of a loaded wagon after formation of a fatigue crack in the side frame is calculated. The mileage of a wagon with a steadily developing fatigue crack with a length of 10 mm to 60 mm is 1,398 thousand km.

Comparison of the calculation results with the data of the sample on the fractures of the side frames for the period from 2006 to 2018 allows to make a conclusion about the correctness of the developed methods for calculating critical lengths of fatigue cracks, the resource of parts and the mileage of the wagon. The application of the methods at the design stage makes it possible to assess the performance of a new or modernised structure of a cast side frame (bolster beam) after the occurrence of a fatigue crack, as well as to give recommendations on establishment of overall shoulders.

05.22.07 – Railway rolling stock, train traction and electrification.

The work was performed and the defence took place at Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University.

Timokhovets, V. D. Improvement of methods of remote monitoring of traffic flows for design of the road network of large cities. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [*Sovershenstvovanie metodov distantsionnogo monitoring transportnykh potokov dlya proektirovaniya ulichno-dorozhnoi seti krupnykh gorodov. Avtoref. dis… kand. tekh. nauk*]. Omsk, TIU publ., 2020, 21 p.

The use of methods for obtaining data on traffic conditions applicable for a single street does not meet the requirements of modern

cities. There is a need to develop an operational method for obtaining information with minimal resource costs and to study the possibility of designing a street-and-road network based on the method of remote monitoring of transport flows based on decrypting online images using Internet resources. In the Ph.D. thesis, the author compares the methods of studying transport flows, in which the absence of a detailed study of the street-and-road network as a network object is revealed.

The main idea of the work is theoretical and experimental substantiation and improvement of methods for remote monitoring of transport flows for design of street-and-road networks in large cities.

The object of the research: the parameters of the transport flow that justify design solutions for design of the street-road network.

The subject of the research is improvement of methods for increasing the efficiency of functioning of transport facilities, convenience, safety, and environmental friendliness of traffic.

The aim of the thesis is to improve the methods of remote monitoring of transport flows for design of the street-and-road network of large cities.

The theoretical and methodological basis: postulates of the theory of transport flows. They consist in the analysis of the modes of movement of cars in various road conditions, considering their dynamic capabilities, the composition of the transport flow and the psychophysiological characteristics of drivers. In the studies carried out, theoretical and computational and analytical research methods were used.

The analysis of applicability of monitoring methods and scientific papers on the theory of transport flows made it possible to formulate the relevance of the problem under consideration, to confirm the need to obtain representative data on the parameters of transport flows when considering a city as a network object. The necessity of integrating several methods of remote monitoring is substantiated: hardware-resource methods and development of a mathematical dependence of transformation of a static picture into a dynamic one with the possibility of considering the objective parameters of the street-road network.

The form of the function has been established, which, with the smallest error (up to 13,21 %), determines the equation of transport flows for each of the developed types of streets. The dependence of the scale on resolution of satellite images is determined to identify transport flows by composition. A typification of streets and city roads has been developed, classifying transport and road factors, and demonstrating the features of the intensity distribution during the day for a more accurate determination. Significant factors are selected that affect the change in the parameters of the transport flow, and a model has been developed that considers the characteristics of the life cycle of each network object, the lane and the state of the roadway coverage.

For the first time, multiparameter dependencies have been developed to determine the traffic intensity, considering transport, road and meteorological factors. Comparison of the calculated and actual values of the intensity obtained by the video surveillance method according to the approximation criterion, which demonstrates the efficiency of the developed dependences, which increase the completeness and reliability of information, is carried out.

A software product has been developed that makes it possible to automate the processes of determining the parameters of transport flows on the street-road network of large cities for reconstruction of existing facilities, construction of backup streets and organization of traffic on streets and city roads.

Directions and prospects for further research are development of a method for express typing of unexplored streets and adaptation of the identified dependencies for the purpose of their application on streets with irregular traffic.

05.23.11 – Design and construction of roads, subways, airfields, bridges and transport tunnels.

The work was carried out at Tyumen Industrial University.

The defence took place at Siberian State Automobile and Highway University (SibADI). ●

НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ

For the English version of the titles published in Russian and for the titles originally published in English please p. 295.

Список вышедших в зарубежных издательствах на английском языке публикаций на с. 296.

DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-1-294-296

Александров А. В., Алексахин С. В., Долгов И. А. [и др.]. Техническая эксплуатация, диагностирование и ремонт двигателей внутреннего сгорания: Учебник. – М.: Риор: Инфра-М, 2021. – 447 с. ISBN 978-5-369-01861-3 (РИОР).

Артемова С. Г., Душко О. В., Сомова К. В. Основы научных исследований: Учеб. пособие. – Волгоград: ВолгГТУ, 2021. – 106 с. ISBN 978-5-9948-3982-9.

Басовский Д. А., Ильин А. А., Кабанов А. В. Проектирование производства работ по устройству дорожных одежд: Учеб. пособие. – СПб.: ПГУПС, 2021. – 55 с. ISBN 978-5-7641-1549-8.

Бердышев В. И., Костоусов В. Б. Визуальные характеристики наблюдения и оптимальные траектории / Ответ. ред. В. В. Васин. – Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения Российской акад. наук, 2021. – 249 с. ISBN 978-5-7692-1689-3.

Бестугин А. Р., Киршина И. А., Филин А. Д., Рачков В. П. Организация эксплуатации воздушного пространства: Монография. – М.: Инфра-М, 2021. – 254 с. ISBN 978-5-16-015898-3.

Бровко П. М., Карастелев Б. Я., Якубовский Ю. В. Инновационные инструменты управления технологическим развитием вертолётостроительного производства Дальнего Востока России: Монография. – Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2021. – 166 с. ISBN 978-5-9736-0624-4.

Волков К. Н., Емельянов В. Н., Цветков А. И. [и др.] Акустические взаимодействия в газовых потоках / Под ред. проф. В. Н. Емельянова и д. ф.-м. н. К. Н. Волкова. – М.: Физматлит, 2021. – 588 с. ISBN 978-5-9221-1890-3.

Володин А. С., Далингер Я. М., Махарев Э. И., Морачев И. В. Сирена-Трэвел: автоматизация управления отправками пассажиров и багажа (DCS «ASTRA» в рамках проекта Leonardo): Учеб. пособие. – М.: Студент, 2021. – 329 с. ISBN 978-5-4363-0078-8.

Горшкова Н. Г., Яковлев Е. А. Проектирование реконструкции автомобильных дорог: Учеб. пособие. – Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2021. – 61 с.

Данилов И. К., Хлопков С. В., Марусин А. В. [и др.]. Повышение мощностных и улучшение экологических показателей двигателей ультразвуковой очисткой электромагнитных форсунок: Монография / Науч. ред. И. К. Данилов. – Чебоксары: Чувашский гос. пед. ун-т, 2021. – 142 с. ISBN 978-5-88297-527-1.

Карагодин В. И., Митрохин Н. Н. Ремонт автомобильных двигателей: Учебник. – 4-е изд., стер. – М.: Академия, 2021. – 446 с. ISBN 978-5-4468-9898-5.

Ковальский Б. И., Сокольников А. Н., Верещагин В. И. [и др.]. Методы контроля и прогнозирования показателей термоокислительной стабильности смазочных масел: Монография. – Красноярск: СФУ, 2021. – 202 с. ISBN 978-5-7638-4425-2.

Кошелева Т. Н., Митрофанов С. В., Бразевич Д. С. [и др.]. Сервис в сфере транспорта: экономико-правовые и социально-психологические проблемы: Монография / Ответ. ред. С. В. Митрофанов. – СПб.: КультИнформ-Пресс, 2021. – 54 с. ISBN 978-5-8392-0884-1.

Липин А. В. Аэронавигация в международных полётах: Учеб. пособие. – 2-е изд., доп. – СПб.: Университет гражданской авиации, 2021. – 277 с. ISBN 978-5-907354-05-0.

Мясникова С. А., Шорин В. А. Эксплуатация автомобильных дорог: Учеб. пособие. – Вологда: ВоГУ, 2021. – 75 с. ISBN 978-5-87851-939-7.

Осинцев Н. А. Организация грузовых автомобильных перевозок: Учеб. пособие. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, 2021. – 99 с. ISBN 978-5-9967-2106-1.

Скотт З. Авиация. Инфографика полёта. – М.: КоЛибри: Азбука-Аттикус, 2021. – 253 с. ISBN 978-5-389-17518-1.

Старчиков С. А. Спутниковая аэронавигация: Учеб. пособие. – Саратов: Профобразование, 2021. – 119 с. ISBN 978-5-4488-0945-3.

Турчак А. А., Шестун А. Н., Сенцов А. А. Формализация и оптимизация жизненного цикла создания бортовых радиоэлектронных комплексов: Монография / Под ред. Ю. М. Смирнова. – СПб.: Политех-Пресс, 2021. – 293 с. ISBN 978-5-7422-7147-5.

Яковлев Е. В., Яковлева Ю. С. Определение влияния защитных лесополос на распространение загрязняющих веществ в придорожном пространстве: Монография. – СПб.: КСИ-Принт, 2021. – 143 с. ISBN 978-5-906702-35-7.

Подготовила Н. ОЛЕЙНИК

NEW BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION

For the original list of editions published in Russian please see p. 294.

DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-1-294-296

Aleksandrov, A. V., Aleksakhin, S. V., Dolgov, I. A. [*et al*]. Technical operation, diagnostics and repair of internal combustion engines: Textbook [*Tekhnicheskaya ekspluatatsiya, diagnostirovanie i remont dvigatelei vnutrennego sgoraniya: Uchebnik*]. Moscow, RIOR: Infra-M publ., 2021, 447 p. ISBN 978-5-369-01861-3 (RIOR).

Artemova, S. G., Dushko, O. V., Somova, K. V. Fundamentals of scientific research: Study guide [*Osnovy nauchnykh issledovanii: Ucheb. posobie*]. Volgograd: VolgSTU publ., 2021, 106 p. ISBN 978-5-9948-3982-9.

Basovsky, D. A., Ilyin, A. A., Kabanov, A. V. Designing performance of works on arrangement of road pavements: Study guide [*Proektirovanie proizvodstva rabot po ustroistvu dorozhnykh odezhd: Ucheb. posobie*]. St. Petersburg, PGUPS publ., 2021, 55 p. ISBN 978-5-7641-1549-8.

Berdyshev, V. I., Kostousov, V. B. Visual characteristics of observation and optimal trajectories [*Vizualnie kharakteristiki nablyudeniya i optimalnie traektorii*]. Executive Editor V. V. Vasin, Corresponding Member of RAS. Novosibirsk, Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2021, 249 p. ISBN 978-5-7692-1689-3.

Bestugin, A. R., Kirshina, I. A., Filin, A. D., Rachkov, V. P. Organisation of airspace exploitation: Monograph [*Organizatsiya ekspluatatsii vozdushnogo prostranstva: Monografiya*]. Moscow, Infra-M publ., 2021, 254 p. ISBN 978-5-16-015898-3.

Brovko, P. M., Karastelev, B. Ya., Yakubovsky, Yu. V. Innovative tools for managing technological development of helicopter production in the Far East of Russia: Monograph [*Innovatsionnie instrument upravleniya tekhnologicheskim razvitiem vertoletostroitelnogo proizvodstva Dalnego Vostoka Rossii: Monografiya*]. Vladivostok, Publishing house of VSUES, 2021, 166 p. ISBN 978-5-9736-0624-4.

Danilov, I. K., Khlopkov, S. V., Marusin, A. V. [*et al*]. Increase of power and improvement of environmental performance of engines by ultrasonic cleaning of electromagnetic nozzles: Monograph [*Povyshenie moshcnostnykh i uluchshenie ekologicheskikh pokazatelei dvigatelei ultrazvukovoi ochistkoi elektromagnitnykh forsunok: Monografiya*]. Scientific editor I. K. Danilov. Cheboksary, Chuvash State Pedagogic University, 2021, 142 p. ISBN 978-5-88297-527-1.

Gorshkova, N. G., Yakovlev, E. A. Designing reconstruction of highways: Study guide [*Proektirovanie rekonstruktsii avtomobilnykh dorog: Ucheb. posobie*]. Belgorod, BSTU n.a. V. G. Shukhov, 2021, 61 p.

Karagodin, V. I., Mitrokhin, N. N. Repair of automobile engines: Textbook [*Remont avtomobilnykh dvigatelei: Uchebnik*]. 4th ed., ster. Moscow, Academia publ., 2021, 446 p. ISBN 978-5-4468-9898-5.

Kosheleva, T. N., Mitrofanov, S. V., Brazevich, D. S. [*et al*]. Service in the field of transport: economic, legal and socio-psychological problems: Monograph [*Servis v sfere transporta: ekonomiko-pravovie i sotsialno-psikhologicheskie problemy: Monografiya*]. Executive editor S. V. Mitrofanov. St. Petersburg, KultInformPress publ., 2021, 54 p. ISBN 978-5-8392-0884-1.

Kovalsky, B. I., Sokolnikov, A. N., Vereshchagin, V. I. [*et al*]. Methods of control and forecasting of indicators of thermo-oxidative stability of lubricating oils: Monograph [*Metody kontrolya i prognozirovaniya pokazatelei termookislitelnoi stabilnosti smazochnykh masel: Monografiya*]. Krasnoyarsk, Siberian Federal University, 2021, 202 p. ISBN 978-5-7638-4425-2.

Lipin, A. V. Air navigation in international flights: Study guide [*Aeronavigatsiya v mezhdunarodnykh poletakh: Ucheb. posobie*]. 2nd ed., enl. St. Petersburg, University of Civil Aviation, 2021, 277 p. ISBN 978-5-907354-05-0.

Myasnikova, S. A., Shorin, V. A. Operation of highways: Study guide [*Ekspluatatsiya avtomobilnykh dorog: Ucheb. posobie*]. Vologda, VoSU, 2021, 75 p. ISBN 978-5-87851-939-7.

Osintsev, N. A. Organisation of freight road transportation: Study guide [*Organizatsiya gruzovykh avtomobilnykh perevozok: Ucheb. posobie*]. Magnitogorsk, Magnitogorsk State Technical University n.a. G. I. Nosov, 2021, 99 p. ISBN 978-5-9967-2106-1.

Scott, Z. Aviation. Flight infographics [*Aviatsiya. Infografika poleta*]. Moscow, KoLibri: Azbuka-Atticus publ., 2021, 253 p. ISBN 978-5-389-17518-1.

Starchikov, S. A. Satellite air navigation: Study guide [*Sputnikovaya aeronavigatsiya: Ucheb. posobie*]. Saratov, Profobrazovanie publ., 2021, 119 p. ISBN 978-5-4488-0945-3.

Turchak, A. A., Shestun, A. N., Sentsov, A. A. Formalization and optimization of the life cycle of creation of onboard radio-electronic complexes: Monograph [*Formalizatsiya i optimizatsiya zhiznennogo tsikla sozdaniya bortovykh radioelektronnykh kompleksov: Monografiya*]. Ed. by Yu. M. Smirnov. St. Petersburg,

Politech-Press publ., 2021, 293 p. ISBN 978-5-7422-7147-5.

Volkov, K. N., Emelyanov, V. N., Tsvetkov, A. I. [*et al*]. Acoustic interactions in gas flows [*Akusticheskie vzaimodeistviya v gazovykh potokakh*]. Edited by Professor V. N. Emelyanov and D.Sc. (Physics and Mathematics) K. N. Volkov. Moscow, Fizmatlit publ., 2021, 588 p. ISBN 978-5-9221-1890-3.

Volodin, A. S., Dalinger, Ya. M., Makharev, E. I., Morachev, I. V. Sirena-Travel: automation of passenger and baggage dispatch management (DCS «ASTRA» within LEONARDO project): Study guide [*Sirena-Travel: avtomatizatsiya upravleniya otpravkami passazhirov i bagazha (DCS ASTRA v ramkakh proekta LEONARDO): Ucheb. posobie*]. Moscow, Student publ., 2021, 329 p. ISBN 978-5-4363-0078-8.

Yakovlev, E. V., Yakovleva, Yu. S. Determination of influence of protective forest belts on the spread of pollutants in the roadside space: Monograph [*Opredelenie vliyaniya zashchitnykh lesopolos na rasprostranenie zagryaznyayushchikh veshchestv v pridorozhnom prostranstve: Monografiya*]. St. Petersburg, KSI-Print publ., 2021, 143 p. ISBN 978-5-906702-35-7.

Compiled by N. OLEYNIK •

Selected editions originally published in English

Fowler, J. London Transport: A Hybrid in History 1905–1948. Frontiers of Management History. Emerald Publishing Limited, 2019, 153 p. ISBN 978-1-78973-953-4; eISBN 978-1-78973-953-4. DOI: 10.1108/9781789739534.

Green, Smart and Connected Transportation Systems. Proceedings of the 9th International Conference on Green Intelligent Transportation Systems and Safety. Eds. Wang, W., Baumann, M., Jiang, X. Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2020, XIV, 1540 p. eBook ISBN 978-981-15-0644-4; Hardcover ISBN 978-981-15-0643-7; Softcover ISBN 978-981-15-0646-8; DOI: 10.1007/978-981-15-0644-4.

Integrating Gender into Transport Planning. From One to Many Tracks. Eds. Lindkvist Scholten, Ch., Joelsson, T. Palgrave Macmillan, 2019, XIX, 292 p. eBook ISBN 978-3-030-05042-9; Hardcover ISBN 978-3-030-05041-2; DOI: 10.1007/978-3-030-05042-9.

Kaur, A., Kacprzyk, Ja., Kumar, A. Fuzzy Transportation and Transshipment Problems. Springer Nature Switzerland AG, 2020. IX, 228 p. eBook ISBN 978-3-030-26676-9; Hardcover ISBN 978-3-030-26675-2; Softcover ISBN 978-3-030-26678-3; DOI: 10.1007/978-3-030-26676-9.

Modelling of the Interaction of the Different Vehicles and Various Transport Modes. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure. Ed. Sladkowski, A. Springer Nature Switzerland AG, 2020, X, 527 p. Hardcover ISBN 978-3-030-11512-8978-3-030-11511-1; eBook ISBN 978-3-030-11512-8. DOI: 10.1007/978-3-030-11512-8.

Noto, G. Strategic Planning for Urban Transportation. A Dynamic Performance Management Approach. Springer Nature Switzerland AG, 2020, XV, 126 p. Book ISBN 978-3-030-36883-8; Hardcover ISBN 978-3-030-36882-1; Softcover ISBN 978-3-030-36885-2; DOI: 10.1007/978-3-030-36883-8.

Reliability and Statistics in Transportation and Communication. Selected Papers from the 18th International Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication, RelStat'18, 17–20 October 2018, Riga, Latvia. Eds. Kabashkin, I., Yatskiv (Jackiva), I., Prentkovskis, O. Springer Nature Switzerland AG, 2019, XVI, 821 p. eBook ISBN 978-3-030-12450-2; Softcover ISBN 978-3-030-12449-6; DOI: 10.1007/978-3-030-12450-2.

Sinha, S., Al Huraimel, Kh. Reimagining Businesses with AI. John Wiley & Sons, Inc., 2020. Print ISBN 9781119709152; Online ISBN 9781119709183; DOI: 10.1002/9781119709183.

Sustainable Solutions for Railways and Transportation Engineering. Proceedings of the 2nd GeoMEast International Congress and Exhibition on Sustainable Civil Infrastructures, Egypt 2018 – The Official International Congress of the Soil-Structure Interaction Group in Egypt (SSIGE). Eds. El-Badawy, S., Valentin, J. Springer Nature Switzerland AG, 2019, VIII, 162 p. eBook ISBN 978-3-030-01911-2; Softcover ISBN 978-3-030-01910-5; DOI: 10.1007/978-3-030-01911-2.

The Governance of Smart Transportation Systems. Towards New Organizational Structures for the Development of Shared, Automated, Electric and Integrated Mobility. Eds. Finger, M., Audouin, M. Springer Nature Switzerland AG, 2019, IX, 260 p. eBook ISBN 978-3-319-96526-0; Hardcover ISBN 978-3-319-96525-3; Softcover ISBN 978-3-030-07208-7; DOI: 10.1007/978-3-319-96526-0.

TRANSBALTICA XI: Transportation Science and Technology. Proceedings of the International Conference TRANSBALTICA, May 2–3, 2019, Vilnius, Lithuania. Eds. Gopalakrishnan, K., Prentkovskis, O., Yatskiv, I., Junevičius, R. Springer Nature Switzerland AG, 2020, XV, 641 p. eBook ISBN 978-3-030-38666-5; Hardcover ISBN 978-3-030-38665-8; DOI: 10.1007/978-3-030-38666-5.

Tutumluer, E., Chen, X., Xiao, Yu. Advances in Environmental Vibration and Transportation Geodynamics. Proceedings of ISEV 2018. Eds. Tutumluer, E., Chen, X., Xiao, Yu. Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2020, XXI, 1049 p. eBook ISBN 978-981-15-2349-6; Hardcover ISBN 978-981-15-2348-9; Softcover ISBN 978-981-15-2351-9; DOI: 10.1007/978-981-15-2349-6. •

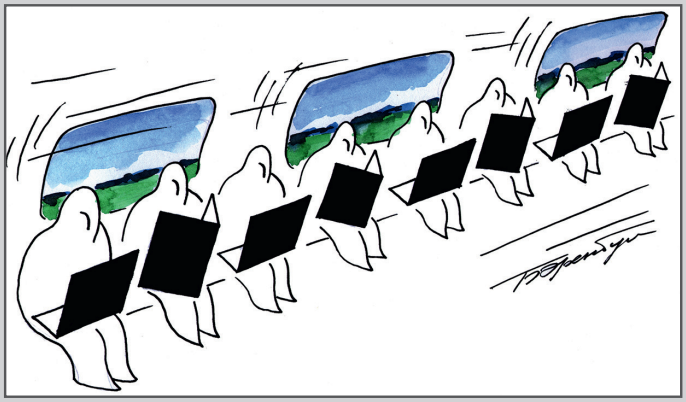


Рис. Бориса Эренбурга / Pic. Boris Erenburg

АНЕКДОТ НА ОБОЧИНЕ

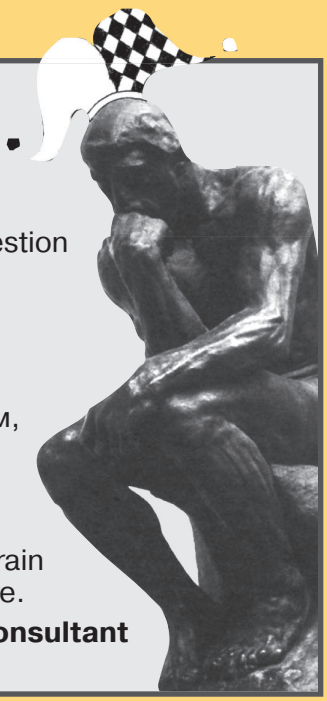
• Романтик — это тот, кто зимой в минус 30 рано утром садится в автобус не с той стороны, где печка, а с той, где рассвет.

• Прежде чем жаловаться, что автобусы медленно ездят, попробуйте пробежать за ними вдогонку...

• Чистого воздуха в городах не хватает, потому что автомобилисты и велосипедисты всё время пытаются закачать его в свои шины.

• Автобус – это транспортное средство, в котором всегда есть свободные места, когда он едет в противоположном нужному вам направлении.

Афоризмы
Sayings



• Поезда всегда прибывают на вашу станцию назначения. Вопрос только, на какой сесть?

Мехмет Мурат Ильдан, туреций писатель

• The trains always arrive at your station. The question is which one to take?

Mehmet Murat Ildan, Turkish playwright, novelist & thinker

• Все говорят, что хотят быть свободными. Снимите поезд с рельсов, он будет свободным, но не сможет никуда отправиться.

Зиг Зиглар, американский автор, лектор и консультант

• Everybody says they want to be free. Take the train off the tracks and it's free-but it can't go anywhere.

Zig Ziglar, American author, consultant & motivational speaker

Дежурный по рубрике – А. НИКОЛАЕВ.

World of Transport and Transportation

Vol.19, Issue 1, 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
wttjournal@gmail.com

Почтовый адрес редакции:
127994, Москва,
ул. Образцова, д.9, стр. 9.
Российский университет
транспорта,
Издательство «Транспорт РУТ»
Тел/факс (495)684 2877
e-mail: mirtr@mail.ru
wttjournal@gmail.com



ISSN 1992-3252