

ТРАНСПОРТ МИР

• ТЕОРИЯ • ИСТОРИЯ
• КОНСТРУИРОВАНИЕ БУДУЩЕГО

4 2020
(89)

Издаётся
Российским университетом
транспорта.
Учреждён МИИТ
в 2003 году

Редакционный совет:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Б. М. Лапидус – доктор экономических наук, профессор

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

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

Дмитрий МАЧЕРЕТ

Теоретическое осмысление роли транспорта в обеспечении долгосрочного экономического развития 6

Оксана ФРЕЙДМАН

Методологические аспекты классификации и управления транспортными системами 34

НАУКА И ТЕХНИКА

*Любовь ЖУРАВЛЁВА, Михаил НИЛОВ,
Владимир ЛОШКАРЕВ, Владислав ЛЕВШУНОВ*

Оценка влияния эффекта Доплера на качество радиосвязи в условиях высокоскоростного движения 54

Владимир ЛОБЫНЦЕВ, Станислав ПОЛЕВ, Кирилл МОГИЛЕВСКИЙ

Исследование эффективности сглаживающих реакторов РЖФА-6500 72

Светлана ШВЕЦОВА

Аспекты оснащения объектов транспорта системами для контроля маршрутов беспилотных летательных аппаратов 84

ЭКОНОМИКА

Борис ВОЛКОВ, Дмитрий БОЯРИНОВ

Эффективность планирования реконструкции объектов железнодорожного транспорта с применением BIM 98

Екатерина БРЯЗГИНА, Дмитрий КАЗЬМИН

Методические подходы к предоставлению государственной поддержки развитию общественного городского пассажирского транспорта. 108

Зоя ФИЛИМОНОВА

Сравнительные оценки конкурентоспособности пассажирских перевозок 118

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Б. А. ЛЁВИН –

главный редактор

Е. Ю. ЗАРЕЧКИН –

первый заместитель главного редактора

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ

Е. С. АШПИЗ –

д.т.н., доцент РУТ

Л. А. БАРАНОВ –

д.т.н., профессор РУТ

А. М. БЕЛОСТОЦКИЙ –

д.т.н., профессор РУТ

Г. В. БУБНОВА –

д.э.н., профессор РУТ

Ю. А. БЫКОВ –

д.т.н., профессор РУТ

В. А. ГРЕЧИШНИКОВ –

д.т.н., доцент РУТ

В. Б. ЗЫЛЁВ –

д.т.н., профессор РУТ

В. И. КОНДРАЩЕНКО –

д.т.н., старший научный сотрудник РУТ

А. А. ЛОКТЕВ –

д.ф.-м.н., профессор РУТ

С. Я. ЛУЦКИЙ –

д.т.н., профессор РУТ

О. Е. ПУДОВИКОВ –

д.т.н., доцент РУТ

В. Н. СИДОРОВ –

д.т.н., профессор РУТ

Н. П. ТЕРЁШИНА –

д.э.н., профессор РУТ

В. С. ФЁДОРОВ –

д.т.н., профессор РУТ

В. М. ФРИДКИН –

д.т.н., старший научный сотрудник РУТ

В. А. ШАРОВ –

д.т.н., профессор РУТ

А. К. ШЕЛИХОВА –

руководитель редакции

РЕДАКЦИЯ

И. А. ГЛАЗОВ –

редактор

Н. К. ОЛЕЙНИК –

технический редактор

М. В. МАСЛОВА –

английский перевод

При перепечатке ссылка на журнал «Мир транспорта» обязательна.

© «Мир транспорта», 2020

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Валерий МЯЧИН, Станислав ЦИБРО,

Наталья СЕМЕНОВА, Алина БАСКАКОВА

Методы расчёта численности населения при транспортном моделировании. 134

Сергей ВИТОЛИН

Основы методологии управления транспортными потоками на улично-дорожной сети крупного города при светофорном регулировании 148

Елена БУДРИНА, Анна ЛЕБЕДЕВА,

Лариса РОГАВИЧЕНЕ, Катерина КВИТКО

Специфика организации транспортно-логистического кластера с приоритетом развития интеллектуальных транспортных технологий 156

Андрей БУРЛУЦКИЙ, Павел ЕЛУГАЧЕВ

Развитие подхода к совершенствованию маршрутной схемы пассажирского транспорта крупного города 174

Павел ТРОИЦКИЙ

Внедрение новейшей железнодорожной техники на основе межотраслевой кооперации 188

КОЛЕСО ИСТОРИИ

Николай ГРИГОРЬЕВ

Эмилий Христианович Ленц (1804–1865). 200

Пресс-архив

Новая система железных дорог с большой скоростью движения, предложенная Августом Шерль.

Проект улучшения пассажирского движения 211

КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

Иван ХОЛИКОВ

Право и транспорт: продолжение темы. 246

Авторефераты диссертаций 254

Новые книги о транспорте 262

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

Журнал выходит 6 раз в год. Тираж 500 экз. Цена свободная.

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

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

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

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

World of Transport and Transportation

•THEORY
•HISTORY
•ENGINEERING
OF THE FUTURE

Vol. 18²⁰²⁰
Iss. 4

**The journal is published
by Russian University
of Transport.**

Founded in 2003 by MIIT.

Editorial council:

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

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

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

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

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

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

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

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

Bakytzhan M. Kuanyshev,
D.Sc. (Eng), professor 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 Duc Su, D.Sc. (Eng),
professor of the University of
Transport and Communications
(Hanoi, Vietnam)

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

CONTENTS

Page numbering below refers to the texts in English

THEORY

Dmitry A. MACHERET

Theoretical Comprehension of the Role of Transport
in Ensuring Long-Term Economic Development 20

Oksana A. FREIDMAN

Methodological Aspects of Transportation Systems
Classification and Management 44

SCIENCE AND ENGINEERING

Lyubov M. ZHURAVLEVA, Mikhail A. NILOV,

Vladimir L. LOSHKAREV, Vladislav V. LEVSHUNOV

Evaluation of the Impact of Doppler Effect on Quality of HSR
Radiocommunications. 63

Vladimir V. LOBYNTSEV, Stanislav S. POLEV, Kirill G. MOGILEVSKY

Study of Performance of RZhFA-6500 Smoothing Reactors 78

Svetlana V. SHVETSOVA

Aspects of Equipping Transport Facilities with Systems
for Controlling Routes of Unmanned Aerial Vehicles 91

ECONOMICS

Boris A. VOLKOV, Dmitry A. BOYARINOV

Efficiency of Planning the Reconstruction
of Railway Facilities Using BIM 103

Ekaterina O. BRYAZGINA, Dmitry M. KAZMIN

Methodological Approaches to Providing State Support
for Development of Public Urban Passenger Transport 113

Zoya V. FILIMONOVA

Comparative Assessment of Competitiveness
of Passenger Transportation. 126

ADMINISTRATION, MANAGEMENT AND CONTROL

Valery N. MYACHIN, Stanislav V. TSIBRO,

Nataliya Yu. SEMENOVA, Alina A. BASKAKOVA

Methods for Calculating the Population Size in Transport Modelling 141

EDITORIAL BOARD

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

BOARD MEMBERS

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

EDITORIAL STAFF

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

© Mir Transporta
© World of Transport
and Transportation
© English translation
© 2020. All rights reserved.

Sergey V. VITOLIN

Basic Methodology of Traffic Management for the Street
and Road Network of a Large City with Traffic Lights Regulation 152

*Elena V. BUDRINA, Anna S. LEBEDEVA,
Larisa I. ROGAVICHENE, Katerina B. KVITKO*

Features of Organisation of Transport and Logistics
Cluster Prioritising Intelligent Transport T
echnologies Development 166

Andrey A. BURLUTSKY, Pavel A. ELUGACHEV

Development of an Approach to Improving
the Passenger Transport Routing Scheme in a Large City 182

Pavel S. TROITSKIY

Introduction of the Latest Railway Technology based
on Intersectoral Cooperation. 194

HISTORY WHEEL

Nikolay D. GRIGORIEV

Emilius Lenz (1804–1865) 206

News from the Archives

New High-Speed Rail System Proposed by August Scherl.

Passenger Traffic Improvement Project. 230

BIBLIO-DIRECTIONS

Ivan V. KHOLIKOV

Law and Transport: Continuing the Topic. 250

Abstracts of D.Sc. and Ph.D. theses 258

New Books on Transport and Transportation. 263

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

Current issues are circulated in 500 hard copies; the journal is distributed
by subscription and delivered by the editor to Russian and foreign
technical and transport universities, national and regional technical
libraries, government and public bodies, transport companies.

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

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

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

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

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



**ЭКОНОМИКА
ТРАНСПОРТА 6**

Транспорт и товарообмен как взаимодействующие факторы долгосрочного экономического развития. История, теория, практика.



**СМЕШАННЫЕ
ТРАНСПОРТНЫЕ
СИСТЕМЫ 34**

Отличительные признаки, определения и классификация.



**TRANSPORT
ECONOMICS 20**

Transport and commodity exchange as interacting factors of long-term economic development. History, theory, practices.



**MIXED
TRANSPORTATION
SYSTEMS 44**

Kew characteristics, definitions and classification.





Теоретическое осмысление роли транспорта в обеспечении долгосрочного экономического развития



Мачерет Дмитрий Александрович – ОАО «РЖД», Российский университет транспорта, Москва, Россия.*

Дмитрий МАЧЕРЕТ

Целью описанного в статье исследования является развитие теоретической базы для оценки долгосрочного влияния транспорта на экономическое развитие в условиях последовательного снижения транспортных издержек. При этом транспортные издержки предлагается рассматривать с учётом рисков потерь товаров при перевозке и нарушении сроков доставки, а также ущерба товаровладельца от «замораживания» на время перевозки воплощённого в товаре капитала.

С использованием экономической дедукции предложена теоретическая модель влияния транспортных издержек на производство и сбыт товаров, на основе которой сделан вывод о том, что снижение транспортных издержек является катализатором экономического роста, «запуская» долгосрочные взаимосвязанные процессы расширения географической зоны сбыта товаров, роста объёмов, масштаба и эффективности производства. Напротив, отсутствие существенного прогресса в развитии транспорта и сохранение высоких транспортных издержек способствуют консервации технико-технологического уровня и низкой эффективности производства. На основе примеров из экономической истории и современной практики, с использованием методов статистического анализа и технико-экономических расчётов, показано, что предложенная модель согласуется с эмпирическими данными.

Исходя из разработанной модели, сформулированы рекомендации относительно желательных для обеспечения экономического роста направлений развития транспорта. В частности, раскрыта необходимость развития тяжеловесного движения на железных дорогах с целью удешевления перевозок относительно недорогих товаров и расширения возможностей для их доставки на дальние расстояния, а также высокоскоростных перевозок для дорогостоящих товаров, чувствительных ко времени доставки. Сфокусировано внимание на важности создания соответствующей транспортной инфраструктуры и необходимости объединения в этих целях усилий государства и бизнеса, способствующих развитию транспортной инфраструктуры за счёт как институциональных инструментов, так и бюджетных инвестиций в рамках проектов государственно-частного партнёрства.

Сделан вывод о том, что товарообменная деятельность (торговля и транспорт) – значимый фактор экономического развития, стимулирующий увеличение объёмов и повышение эффективности производства. Поэтому экономическая наука должна строиться не «вокруг производства» или «вокруг обмена», а исходить из их взаимодействия и активной роли обеих этих сфер в процессе развития экономики.

Ключевые слова: транспорт, экономический рост, межрегиональный товарообмен, транспортные издержки, дальность транспортировки, масштаб производства, инновации.

*Информация об авторе:

Мачерет Дмитрий Александрович – доктор экономических наук, профессор, первый заместитель председателя Объединённого учёного совета ОАО «РЖД», заведующий кафедрой экономики транспортной инфраструктуры и управления строительным бизнесом Российского университета транспорта, Москва, Россия, macheretda@rambler.ru.

Статья поступила в редакцию 24.01.2020, принята к публикации 18.05.2020.

For the English text of the article please see p. 20.

ВВЕДЕНИЕ

Значение экономического обмена, основанного на использовании преимуществ в производстве тех или иных товаров, для специализации и роста эффективности экономики показал ещё Адам Смит [1, с. 69–82; 443–445]. Дж. Мокир не случайно называет составляющую (тип) экономического роста, основанную на расширении обмена, выгодного для всех участвующих сторон, «смитианским ростом» [2]. К. Менгер [3] и Ф. А. фон Хайек [4] подчёркивали производительный характер обмена: увеличение ценности благ в результате обмена равносильно созданию нового вещественного блага, а потому обмен имеет для экономического роста не меньшее значение, чем производство.

Наиболее значительное увеличение ценности благ зачастую достигается при международном (межрегиональном) обмене, когда его участников разделяют значительные расстояния, а экономические характеристики производства, сбыта и потребления товаров существенно различаются. По мнению Э. Хелпмана, подтверждаемому анализом экономической истории с глубокой древности до наших дней, «исторические данные показывают, что торговля между отдалёнными торговыми партнёрами и экономическое развитие были сложным образом взаимосвязаны и что эта торговля играла основную роль в историческом развитии мировой экономики» [5, с. 12].

В теории международной торговли, основы которой заложил в начале XIX века Д. Рикардо [6], а развитие обеспечили в начале XX века Э. Хекшер [7] и Б. Олин [8], определяющую роль играет характеристика производства в регионах, между которыми осуществляется товарообмен: сравнительные затраты труда на производство тех или иных товаров (у Рикардо), относительная обеспеченность факторами производства (у Хекшера и Олина). Но в цепи товарообмена очень важны и экономические характеристики транспортно-логистических артерий движения товаров. Во-первых, эти характеристики определяют издержки транспортировки, в которых можно выделить следующие компоненты:

- непосредственные затраты на транспортировку товара (провозные и прочие платежи);

- риски, связанные с возможностью его потери или порчи в процессе транспортировки, а также риски более поздней доставки товара получателю;

- неявные затраты товаровладельца, связанные с «омертвлением» капитала, воплощённого в перевозимом товаре, в течение срока его доставки, зависящие от скорости и расстояния транспортировки.

Во-вторых, провозные способности и качественные характеристики путей сообщения определяют как потенциальные общие объёмы перевозимых товаров, так и их возможный ассортимент.

В теории международной торговли транспортные издержки учитываются при расчёте коэффициентов так называемого «гравитационного уравнения», предложенного Я. Тинбергеном [9] и позволяющего оценить объём торговли между двумя странами в зависимости от ряда факторов. В данной модели транспортные издержки играют роль препятствий для международной торговли. С повышением транспортных издержек спектр неторгуемых товаров, производящихся исключительно для местного потребления, расширяется [5, с. 49], а, значит, ограничиваются возможности для региональной специализации и использования сравнительных преимуществ.

Представляется, что рассмотрение роли транспорта в товарообменных процессах лишь как «генератора издержек», формирующего барьеры на пути торговли и ограничивающего возможности для экономической специализации, не позволяет адекватно осмыслить его действительное значение для развития экономики. Хотя транспортные издержки, безусловно, можно рассматривать как своеобразное «трение» в системе товарообмена, транспорт является не барьером, а материальной основой для его реализации. Отмеченный выше производительный характер обмена при сколь-нибудь значимых расстояниях может быть реализован только при посредстве магистрального транспорта. Активная роль транспорта в стимулировании экономического развития, формировании эпохи современного экономического роста отмечена, на основе эмпирического анализа, в ряде работ, в частности, в [10–15].

Теоретическое осмысление роли транспорта в повышении благосостояния обще-





ства, создании «потребительского выигрыша» представлено в классической работе Жюля Дюпюи [16]. Подходы Дюпюи получили развитие в работе [17], где показано, как создание межрегионального транспортного сообщения, позволяющее специализировать производство в каждом регионе, формирует не только потребительский выигрыш, но и выигрыш производителей.

Среди эффектов торговли выделяется эффект разнообразия, связанный с возможностью потребительского выбора из более широкого ассортимента товаров [18]. В работе [19] на основе теоретической модели показано, как расширение ассортимента товаров, достигаемое благодаря открытию транспортного сообщения, повышает объёмы производства и выигрыш потребителей.

Несмотря на наличие значительного корпуса работ, раскрывающих те или иные аспекты влияния транспорта на экономический рост и общественное благосостояние, роль транспорта в обеспечении долгосрочного экономического развития нуждается в углубленном теоретическом осмыслении. *Цель* настоящего исследования — выявить, с использованием экономической дедукции, сущность влияния поступательного развития транспорта и снижения транспортных издержек на изменение объёмов производства и цен товаров, а также на повышение масштабов и технико-технологического уровня производства, и, тем самым, на снижение производственных издержек. Такой подход позволяет показать активную роль транспорта в долгосрочном стимулировании и поддержании темпов экономического роста, а динамический характер рассмотрения транспортных издержек даёт возможность взглянуть на них в новом ракурсе: если в статике транспортные издержки — это просто барьер для товарообмена и экономического роста, то в динамике снижающиеся транспортные издержки — стимул повышения объёмов производства и расширения географии сбыта товаров, снижения рыночных цен и роста благосостояния потребителей. Важно отметить, что при сокращении удельных издержек на перевозку товаров их общая величина в долгосрочном периоде растёт [20]. Как показано

в работе [21], это свидетельствует не о росте «транспортной нагрузки» на экономику, а о том, что транспортные издержки, замещающая за счёт перекомбинирования производственных ресурсов в процессе региональной специализации и межрегионального обмена более значительную величину других видов издержек, способствуют росту эффективности экономики.

Для демонстрации согласованности сформированной теоретической модели с экономической практикой используются *методы* исторического и статистического анализа и технико-экономических расчётов.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ИЗДЕРЖЕК НА ПРОИЗВОДСТВО И СБЫТ ТОВАРОВ

Влияние надёжности транспортных сообщений и величины транспортных издержек на характеристики производства и сбыта товаров можно раскрыть с помощью следующей модели.

Пусть какой-либо товар производится в определённом регионе (Регион 0) и технически может доставляться в иные регионы (1, 2, 3 и т.д.).

Кривая спроса на товар (D) во всех регионах одинакова (это условие не является существенным и принято для более наглядной визуализации; при различиях кривых спроса в регионах выводы принципиально не изменятся).

Производство в Регионе 0 используется, прежде всего, для удовлетворения спроса в данном регионе. При отсутствии транспортных сообщений объём производства составит q_0 . При открытии транспортных сообщений производятся дополнительные объёмы товара для поставки в иные регионы. Этим условием, а также величиной транспортных издержек определяется характер кривых предложения в регионах 1, 2 и т.д. (Транспортные издержки, как сказано выше, учитывают не только стоимость перевозки товара, но и возможные потери, связанные с несохранностью и нарушениями сроков доставки товара, либо соответствующие страховые платежи, а также ущерб товаровладельца от «замораживания» на время перевозки оборотного капитала, воплощённого в товаре, методология

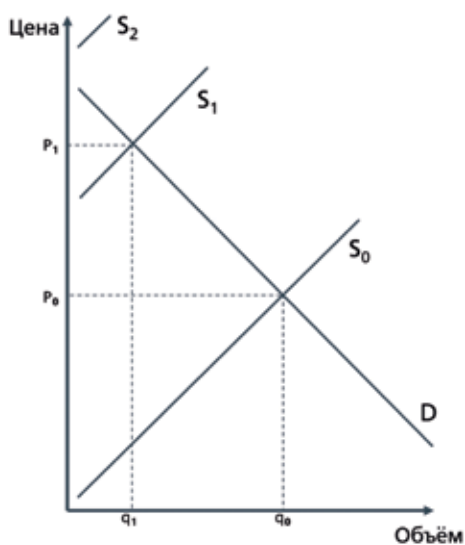


Рис. 1. Влияние транспортных издержек на сбыт товаров в удалённые регионы.

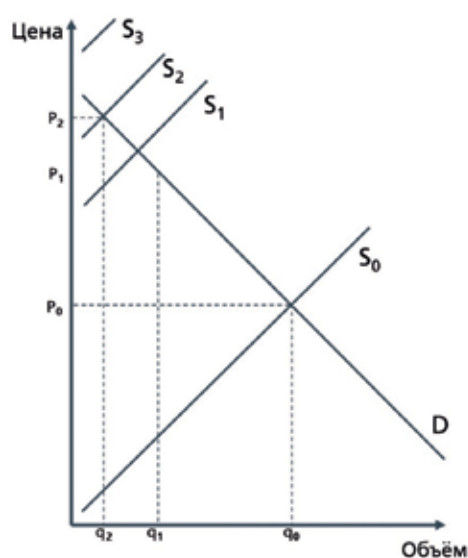


Рис. 2. Изменение рыночных характеристик под влиянием снижения транспортных издержек в краткосрочном периоде.

оценки которого раскрыта в работе [22]. Таким образом, на снижение транспортных издержек влияет не только непосредственное удешевление перевозок, но и повышение их надёжности и скорости).

Кривые предложения в различных регионах смещаются вверх по мере удаления от региона производства, объёмы сбыта при этом, соответственно, оказываются ниже, чем в регионе производства, а цены выше.

При высоком уровне транспортных издержек (рис. 1) цены предложения в удалённых регионах существенно выше, чем в регионе производства. Географическая зона сбыта при принятом сочетании характеристик предложения и спроса будет ограничена Регионом 1. В Регионе 2 и более удалённых товар уже не будет востребован: хотя спрос на него есть и доставка технически возможна, однако кривые предложения лежат выше кривой спроса. Таким образом, высокий уровень транспортных издержек ограничивает и географическую зону сбыта товаров, и объём сбыта. Соответственно, ограничивается и объём производства (в данном случае он составит $q_0 + q_1$). В условиях ограниченного сбыта организация массового производства невозможна, что является тормозом для внедрения инноваций, а издержки производства высоки, что отражается

в «крутизне» кривой предложения уже в регионе производства.

Существенное сокращение транспортных издержек смещает вниз кривые предложения товара в удалённых регионах (рис. 2). В результате расширяется географическая зона сбыта товара, а также увеличивается объём сбыта в тех регионах, где он продавался и ранее. Соответственно, общий объём производства увеличивается, как и суммарная величина прибыли производителей и эффектов, получаемых потребителями («потребительского излишка»). Другими словами, снижение транспортных издержек способствует экономическому росту и повышению благосостояния потребителей.

Ещё более впечатляющи долгосрочные последствия снижения транспортных издержек. Вызванное ими увеличение зоны сбыта и объёмов производства стимулирует рост масштаба производства, сопровождающийся совершенствованием техники и технологий, что приводит к снижению издержек производства. Графически это выражается в уменьшении наклона кривых предложения (рис. 3). В результате ещё более расширяется географическая зона сбыта товара, снижаются цены и растут объёмы сбыта в тех регионах, где товар продавался и ранее, в том числе — в регионе производства.



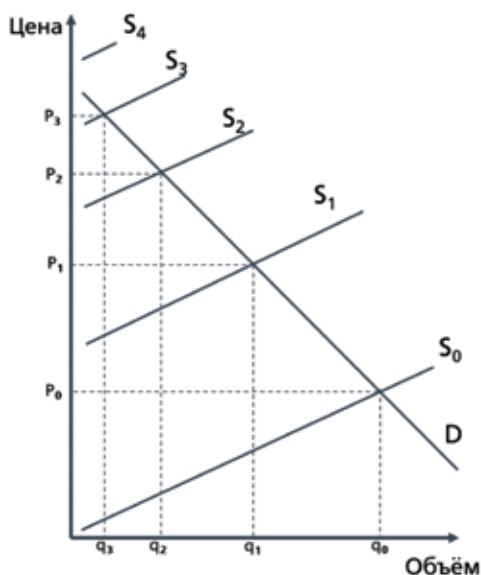


Рис. 3. Изменение рыночных характеристик под влиянием снижения транспортных издержек в долгосрочном периоде.

На последний момент надо обратить особое внимание. В краткосрочном периоде расширение вывоза товара в другие регионы может привести к росту цен и даже сокращению потребления в регионе производства. Мы абстрагировались от такой возможности в данной модели, но её следует отметить. Соответственно, сокращение вывоза товара из-за возникших транспортных или торговых барьеров в краткосрочном периоде приведёт к снижению цен и увеличению потребления в регионе его производства. В связи с этим иногда возникает иллюзия, прежде всего — в массовом сознании, что вывоз товара невыгоден потребителям, находящимся в регионе его производства, а ограничения вывоза пойдут им на пользу. Однако, подчеркнем ещё раз, подобные последствия могут возникать только в краткосрочном периоде. В долгосрочной перспективе расширение вывоза товаров, при условии повышения технико-технологического уровня производства и реализации эффекта масштаба, приведёт к снижению цен и увеличению объёмов потребления также и в регионе производства. Поэтому поощрение вывоза товаров в долгосрочной перспективе может быть выгодно не только производителям, но и потребителям в регионе производства.

Следует отметить, что увеличение объёма и дальности сбыта товаров позволяет

реализовать эффект масштаба и инновации и в сфере транспорта. В результате транспортные издержки ещё более снизятся, что повлечёт за собой дальнейшее сближение кривых предложения в разных регионах и расширение географических масштабов сбыта, общий рост объёмов производства. Это сделает выгодным новый рост масштабов и технико-технологического уровня производства, что приведёт к продолжению «уположивания» кривых предложения, даст новый импульс повышению объёмов производства, дальности сбыта, снижению цен. Другими словами, процессы, показанные на рисунках 2 и 3, будут итерационно повторяться, и каждый этап станет новым шагом на пути экономического развития и повышения благосостояния людей.

На практике описанные процессы будут переплетаться между собой и хронологически запараллеливаться, так как в каждый период времени какие-то производители будут реагировать на новые возможности, связанные с произошедшим снижением транспортных издержек и расширением географии сбыта, и заниматься увеличением масштаба и технико-технологическим совершенствованием производства, а какие-то перевозчики — реагировать на уже свершившееся увеличение объёмов производства и перевозок, расширять масштаб своей деятельности и внедрять инновации, добиваясь снижения транспортных издержек. Поэтому результирующие графики долгосрочных многоэтапных изменений транспортных издержек и объёмов производства могут быть представлены не в виде ломаных линий, а в виде плавных кривых (рис. 4). Поскольку рост географических масштабов сбыта и средней дальности транспортировки происходит под влиянием как снижения транспортных издержек, так и снижения издержек производства, соответствующие графики могут быть представлены в качестве прямых линий. (Это согласуется с эмпирическими данными о росте средней дальности перевозок в крупнейших железнодорожных системах мира за более чем вековой период [23, с. 148–149]).

Таким образом, снижение транспортных издержек, учитывающее повышение надёжности и скорости перевозок, являет-

ся катализатором экономического роста, «запуска» долгосрочные взаимосвязанные процессы снижения производственных и транспортных издержек, роста объёмов, масштаба и эффективности производства и расширения географии сбыта товаров.

Но что будет происходить в условиях долговременного сохранения высоких транспортных издержек, т.е. ситуации, показанной на рис. 1? В этом случае, в удалённых от места производства регионах откроется возможность организации прибыльного выпуска данного товара или его заменителя более низкого качества («эрзац-продукта») даже при значительно более высоком уровне производственных издержек, чем в регионе изначального производства, но при более низкой, по сравнению с привозным товаром, цене. В результате потребители в удалённых регионах получают стимул переключиться на потребление товаров-заменителей местного производства, конкурентоспособность которых обеспечивается единственным фактором — дороговизной привозного товара. При этом экономические ресурсы, неэффективно затрачиваемые на производство товаров-заменителей, будут отвлекаться от производства тех товаров, в которых данные регионы имеют сравнительное преимущество, и которые было бы целесообразно производить не только для внутреннего потребления, но и для вывоза в другие регионы. Следовательно, будет сдерживаться региональная специализация, являющаяся весьма значимым фактором экономического роста. В таких условиях не будет достаточных стимулов для роста масштабов и технико-технологического уровня производства в «Регионе 0», а в удалённых регионах производство может консервироваться на ещё более низком уровне технологии и эффективности.

Итак, если снижение транспортных издержек является мощным стимулом технико-технологического развития и роста экономической эффективности, то высокие транспортные издержки создают условия для консервации техники, технологий и низкой эффективности. (Следует заметить, что подобным образом действуют и иные барьеры — таможенные и др., препятствующие развитию товарообмена).

Чем выше транспортные издержки с одной стороны и ниже издержки производства товара или его заменителей в уда-

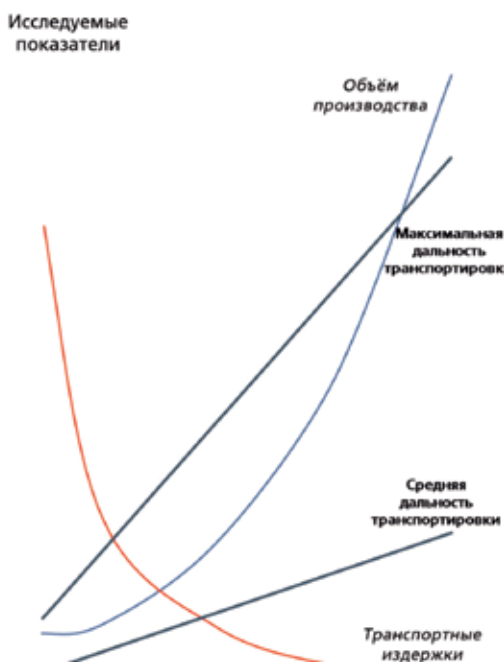


Рис. 4. Долгосрочная взаимосвязь многоэтапных изменений издержек, объёмов производства и дальности транспортировки.

лённых регионах, с другой стороны (иными словами, чем выше транспортная составляющая — отношение транспортных издержек к издержкам производства или цене товара), тем меньше будут географическая зона сбыта товара и экономически оправданная дальность его транспортировки. Поэтому при высоких транспортных издержках «дешёвые» товары являются неторгуемыми, а для более «дорогих» товаров дальность и объёмы транспортировки и сбыта ограничиваются.

Чем ближе кривые предложения товара в регионе производства и в удалённых регионах сбыта, тем более высоким требованиям должно соответствовать местное производство этого товара или производство товаров-заменителей в удалённых регионах, чтобы быть конкурентоспособным.

ЭМПИРИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Дальняя торговля и, соответственно, транспортировка товаров на значительные расстояния существовали уже в глубокой древности [4; 24]. Однако, в силу высоких транспортных издержек, связанных, в том



числе, с ненадёжностью и даже опасностью, дальняя торговля осуществлялась преимущественно дорогами (шёлк, пряности, драгоценности) и так называемыми неконкурирующими товарами — то есть товарами, дефицитными или вовсе не производящимися в импортирующих регионах, производство которых (или их заменителей) в достаточном для удовлетворения спроса количестве было сложно или невозможно по причине отсутствия необходимых ресурсов.

В тех случаях, когда возможно было наладить местное производство товаров-заменителей, прежде всего — ремесленных изделий, это зачастую происходило, даже если такое производство было мелким и примитивным, а потому — дорогим, а качество продукции — ниже, чем привозной [25, с. 164—168]. Разрывы между кривыми предложения в разных регионах, обусловленные высокими транспортными издержками (как показано на рис. 1), создавали условия для реализации такого подхода. При отсутствии впечатляющего прогресса на транспорте, существенного снижения транспортных издержек не происходило. Об этом свидетельствует сохранение в Римской империи на протяжении нескольких веков значительных межрегиональных ценовых различий без заметных изменений [26]. Высокие транспортные издержки стали там существенным препятствием для укрупнения производства и внедрения инноваций, что в итоге заблокировало возможность осуществления в тот период промышленной революции [15, с. 160—162].

В Средневековье высокий уровень транспортных издержек сохранялся, что предопределило и сохранение характера дальней торговли, где по-прежнему доминировали дорогие и неконкурирующие товары: меха, пряности, шёлк, фарфор, чай, серебро, медь и пр. [27].

В позднем Средневековье (в XIV—XV веках), благодаря совершенствованию морского транспорта, началось удешевление перевозок, в том числе — за счёт роста их надёжности, что выразилось в существенном снижении страховых тарифов [28]. Это способствовало осуществлению в Европе так называемой «коммерческой революции» [29], начавшейся примерно

в XIII веке и продолжавшейся до начала XVIII века. Коммерческая революция обеспечила не только увеличение объёмов и расширение географии торговли, но и стимулировала развитие новых форм и инструментов коммерческой деятельности (бухгалтерского учёта, банковской и кредитной систем и др.), увеличение денежного обращения. Она справедливо рассматривается как начало экономического возрождения Европы, качественно новый этап в развитии западноевропейской экономики, ставший основой изменения структуры европейского рынка и общества [30]. Стала меняться и структура торговли. Так, к XVI веку значительную часть международного товарооборота составляли зерно, лес, рыба, вино, соль, металлы, ткани и сырьё для текстильной промышленности [11].

Рост объёмов и дальности транспортировки товаров в ходе коммерческой революции и последующей эпохи Великих географических открытий способствовал ускорению экономического роста в XVI—XVIII веках и, прежде всего, в странах, наиболее преуспевавших в международной торговле — Нидерландах и Англии (табл. 1).

Тем не менее до создания сети благоустроенных дорог и каналов и появления в начале XIX века парового транспорта прогресс средств сообщения был недостаточен для кардинального снижения транспортных издержек в масштабах мировой экономики. Поэтому, вплоть до XVIII столетия, торговля между отдалёнными регионами всё ещё «состояла по большей части из неконкурирующих продуктов» [5, с. 19]. Появление железных дорог и пароходов открыло качественно новые возможности для развития товарообмена — перевозки стали массовыми, регулярными, надёжными и относительно дешёвыми. Поэтому «на протяжении XIX в. торговля быстро развивалась отчасти из-за значительного снижения транспортных расходов, отчасти из-за подъёма промышленного производства» [5, с. 19]. Разработанная модель свидетельствует, что это были не просто дополняющие друг друга, а взаимоподдерживающие факторы, причём снижение транспортных издержек и расширение обмена в результате совершенствования средств транспорта можно в совокупности считать не

Ускорение экономического роста в результате коммерческой революции и Великих географических открытий

	1000–1500 гг.		1500–1820 гг.	
	Среднегодовой темп прироста ВВП, %	Среднегодовой темп прироста по-душевого ВВП, %	Среднегодовой темп прироста ВВП, %	Среднегодовой темп прироста по-душевого ВВП, %
Весь мир	0,15	0,05	0,32	0,05
Западная Европа	0,28	0,12	0,40	0,14
Нидерланды	0,35	0,12	0,56	0,28
Великобритания	0,25	0,12	0,80	0,27

Источник: Maddison, 2007 [20].

просто катализатором, а «спусковым крючком» промышленной революции и формирования эпохи современного экономического роста. Это логически следует из разработанной модели и соответствует последовательности событий экономической истории: коммерческая революция и Великие географические открытия предшествовали революции промышленной. (Более подробно влияние развития транспорта на осуществление индустриализации и вхождение человечества в эпоху современного экономического роста описано в работе [15]).

В связи с этим, соглашаясь с тезисом Хелпмана о том, «что торговля между отдалёнными партнёрами влияла на экономическое развитие, а экономическое развитие — на торговлю» [5, с. 21], хотелось бы уточнить другое его высказывание: «изменения в сферах производства и потребления существенно влияли на объём торговли, изначально низкий, и его последующий рост» [5, с. 21]. Безусловно, торговотранспортная деятельность зависит от производства, ведь, в конце концов, продать и перевезти можно только то, что произведено. Но именно возможности выгодного сбыта товаров в удалённые регионы, открывающиеся благодаря усовершенствованию транспорта и снижению транспортных издержек, стимулируют рост объёмов и масштабов производства и межрегиональную специализацию, позволяющую произвести из тех же ресурсов больший объём товаров. Это следует из теоретической модели и подтверждается ходом экономической истории. Как отмечал К. Я. Загорский, «сначала создаются новые пути и средства транспорта, которые открывают возможности получения и сбыта

[товаров] во всех направлениях, и только тогда производство в свою очередь может начать строиться на основе этих новых условий...» [10, с. 43].

Сближение кривых предложения товара в разных регионах, описанное в разработанной модели, проявляется в снижении ценовых различий между региональными рынками. Например, появление в XIX веке железных дорог и дальнейшее развитие железнодорожной сети в Пруссии существенно сократили различия цен на зерно в сельскохозяйственных и промышленных регионах (табл. 2). Это особенно наглядно проявлялось в неурожайные годы: при отсутствии железных дорог соответствующие различия были очень велики, с развитием железнодорожного сообщения, которое, по сравнению с гужевым транспортом, и удешевляло, и ускоряло доставку товаров в несколько раз, а, кроме того, существенно повышало её надёжность, ценовые разницы последовательно сокращались. А снижение стоимости доставки зерна из США в Англию (на 80 % с 1868 по 1895 гг. [10, с. 59]), благодаря одновременному удешевлению железнодорожных и морских перевозок, привело к почти двукратному удешевлению пшеницы в Англии (табл. 3). При этом в сельскохозяйственных штатах США тенденции к росту цен на пшеницу не наблюдалось.

Из представленной модели следует, что в долгосрочном периоде должно происходить общее снижение уровня цен на торгуемые товары. Этот вывод также подтверждается практикой. Так, в США в течение последних пятидесяти лет индекс цен на товары промышленного производства устойчиво отставал от индекса цен на услуги. А с начала XXI века наблюдалось суще-



Таблица 2

**Влияние развития транспортных сообщений на цены зерна в регионах
Пруссии в неурожайные годы XIX века
(цена ржи в сельскохозяйственных регионах в 1817 году = 100)**

Неуро- жайные годы	Цена ржи			Цена пшеницы			Характеристика железных дорог
	Сельско- хозяй- ственные регионы	Промыш- ленные регионы	Разница	Сельско- хозяй- ственные регионы	Промыш- ленные регионы	Разница	
1817	100	236	136	171	296	125	Железные дороги отсутствуют
1847	131	178	47	175	227	52	Начальный этап строи- тельства железных дорог
1855	141	183	42	201	232	31	Значимая железнодо- рожная сеть
1867	128	148	20	180	209	29	Основные экономиче- ские центры соединены железными дорогами

Источник: расчёты автора по данным [54].

Таблица 3

**Влияние снижения транспортных издержек на цены пшеницы в Миннесоте (США)
и Англии в конце XIX века (цена пшеницы в Миннесоте в 1891–1894 годах = 100)**

Период времени	Миннесота	Англия	Разница
1871–1874 гг.	118	271	153
1875–1878 гг.	117	231	114
1879–1882 гг.	149	212	63
1883–1886 гг.	104	168	64
1887–1890 гг.	118	150	32
1891–1894 гг.	100	138	38

Источник: расчёты автора по данным [10].

ственное снижение цен на потребитель-
ские товары длительного использования
(доставляемые в значительной степени из
Китая) при росте цен на услуги [31].

Ещё одной наглядной иллюстрацией
согласованности теоретической модели
с эмпирическими данными служит долго-
срочная динамика объёмов добычи, сред-
ней дальности транспортировки и реаль-
ной доходной ставки на железнодорожные
перевозки угля¹ в Российской Федерации
(рис. 5). Примечательно, что во время гло-
бального кризиса снижение дальности
перевозки угля (в 2008 году) предшество-
вало падению его добычи (в 2009 году). Это
показательный пример воздействия това-
рообменных процессов, в частности —
дальности сбыта товара, на объём произ-
водства.

¹ Выбор в качестве примера железнодорожных пере-
возок угля обусловлен тем, что почти весь добывае-
мый в России уголь перевозится железнодорожным
транспортом, и по показателям железнодорожных
перевозок можно судить о сбыте угля в целом.

Таким образом, разработанная теорети-
ческая модель согласуется с эмпирически-
ми данными и позволяет лучше понять
роль транспорта в экономической истории
и обеспечении долгосрочного роста эконо-
мики.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Убедившись в «объяснительной силе»
разработанной теоретической модели,
следует остановиться на тех выводах, кото-
рые можно сделать на её основе относи-
тельно желательных для роста экономики
направлений развития транспорта.

В условиях современной глобальной
экономики дальность транспортировки
товаров достигла весьма значительного
уровня. Тем не менее, существуют резервы
дальнейшего роста эффективности эконо-
мики за счёт повышения как максималь-
ной, так и средней дальности транспор-
тировки. При этом относительно дешёвые
товары более чувствительны к явной со-
ставляющей транспортных издержек —



Рис. 5. Индексы показателей добычи и железнодорожных перевозок угля в Российской Федерации, 2004–2018 гг. (%), 2004 г. = 100 %. Источник: расчёты автора по данным Росстата, ОАО «РЖД».

провозной плате, т.е. к уровню транспортных тарифов. Если морской и трубопроводный транспорт, в силу технологических особенностей, обеспечивают весьма низкий уровень себестоимости перевозок и тарифов, который позволяет эффективно осуществлять межконтинентальные и трансконтинентальные перевозки даже сырьевых грузов, то уровень себестоимости перевозок и тарифов на железнодорожном и автомобильном транспорте гораздо выше. Их снижение позволило бы расширить области сбыта наиболее дешёвого и качественного сырья в тех случаях, когда перевозки необходимо осуществлять по суше. Как следует из представленной модели, это имело бы позитивные долгосрочные последствия.

Ключевым направлением для удешевления перевозок является повышение веса транспортных средств, так как себестоимость перевозок и вес транспортного средства связаны обратной зависимостью [32, с. 253–269]. На железнодорожном транспорте средний вес поезда и доля тяжёлых поездов являются весьма значимы-

ми для общей величины эксплуатационных затрат факторами [33]. Движение тяжёлых поездов с целью увеличения объёмов и удешевления перевозок массовых грузов (угля, руды и т.п.) активно развивается на железных дорогах в ряде стран мира (Австралии, Бразилии, Канаде, Китае, США, Швеции, ЮАР), в том числе и в России [34]. Модернизация инфраструктуры Восточного полигона сети российских железных дорог с целью развития движения тяжёлых поездов – важная составляющая долгосрочной программы развития ОАО «РЖД» до 2025 года. Её реализация позволит улучшить транспортные возможности для отечественных экспортёров.

Чем дороже перевозимый товар, тем выше его чувствительность к неявной составляющей транспортных издержек – ущербу от «омертвления» капитала, воплощённого в перевозимом товаре. Снизить его возможно за счёт кардинального повышения скорости доставки. Одним из вариантов реализации этой задачи является использование для доставки дорогостоя-



ших товаров высокоскоростного железнодорожного сообщения (со скоростью свыше 200 км/ч), обычно применяемого только для пассажирских перевозок. В настоящее время уже прорабатываются варианты организации трансконтинентальных высокоскоростных железнодорожных перевозок товаров, в т.ч. товаров электронной торговли [35].

Таким образом, реализация тяжеловесных перевозок для относительно дешёвых товаров и высокоскоростных — для дорогостоящих — будет способствовать снижению издержек доставки тех и других и, тем самым, росту объёмов мирового производства. Осуществление таких перевозок, являясь, безусловно, предпринимательским решением, требует наличия соответствующей инфраструктуры. Между тем развитие российской транспортной инфраструктуры отстаёт от требований бизнеса. «В настоящее время очевидна потребность российской экономики в развитии и улучшении инфраструктуры», *которая может оказать «долгосрочное позитивное влияние на экономический рост», «стать основой для возникновения новых направлений экономической деятельности... а также создать предпосылки для активного вовлечения российской экономики в международную торговлю»* [36, с. 23].

Строительство транспортной инфраструктуры отличается высокой капиталоемкостью и медленной окупаемостью, что делает его малопривлекательным и труднореализуемым для частного бизнеса. Учитывая, что такая инфраструктура, с одной стороны, стимулирует экономический рост, а с другой — может использоваться для перевозок множества разных товаров, производимых различными отраслями, то есть не оказывает искажающего влияния на структуру производства, государственные инвестиции в её сооружение более оправданы, чем в какие-либо другие отрасли экономики. Уместно вспомнить, что ещё Адам Смит относил сооружение и поддержание транспортной инфраструктуры к обязанностям государства [1, с. 675–676]. Следует согласиться с мнением, что в современных российских условиях «на транспорте... *тактически и стратегически оправданы* меры государственной поддержки инвестиционной деятельности»

[37, с. 12]. «Постоянный рост расходов на развитие транспортной инфраструктуры... *позволит повысить эффективность производства в долгосрочном периоде*» [38, с. 52]. Такие расходы «следует рассматривать как вложения в долгосрочный экономический рост» [39, с. 14].

В связи с этим целесообразным представляется участие государства в развитии не только автодорожной, но и железнодорожной инфраструктуры как для тяжеловесного движения, так и для высокоскоростных перевозок. В то же время мировой и российский опыт свидетельствует о том, что наибольший динамизм транспортного строительства обеспечивается при задействовании частной инициативы [14; 15; 40–42]. Поэтому ещё более важной задачей является создание привлекательных условий для частных инвестиций в транспортную инфраструктуру.

Таким образом, задачи развития транспортной инфраструктуры должны решаться государством и бизнесом совместно. Государство за счёт прямого бюджетного и льготного заёмного финансирования, совершенствования тарифной системы, создания условий для привлечения частного капитала, снятия излишних ограничений на использование имущества организаций транспорта в хозяйственном обороте должно формировать «каркас» транспортной системы, гармонизировать развитие разных видов транспорта и транспортную обеспеченность регионов, создавать благоприятные возможности как для внутренних, так и для международных экономических связей. Бизнес должен участвовать в инвестициях в развитие и модернизацию инфраструктуры, обеспечивать обновление подвижного состава за счёт собственного и привлечённого финансирования [43, с. 20]. Интегрирующим частное и государственное участие вариантом развития транспортной инфраструктуры является модель государственно-частного партнёрства, неплохо зарекомендовавшая себя в мировой практике [44, с. 304–356].

Обсуждая проблематику дальнейшего роста дальности транспортировки товаров в интересах повышения эффективности экономики, следует отметить, что некоторые уже реализованные варианты встраи-

вания транспорта в производственные цепочки протяжённостью несколько тысяч километров вызывают критическую реакцию в связи с ростом экологической нагрузки [45, с. 204–205]. Не исключено, что она может порождать общественный запрос на запретительные меры со стороны государства в духе борьбы с так называемыми «излишне дальними» перевозками, которые советские экономисты относили к нерациональным [46, с. 227–233]. Принятие таких мер весьма нежелательно. Проблема воздействия транспорта на окружающую среду должна решаться системно, с созданием государством соответствующих экономических, предпочтительно — рыночных, механизмов, позволяющих интернализировать отрицательные экстерналии [45; 47].

Как уже отмечалось выше, развитие транспортных систем и снижение издержек транспортировки позволили превратить практически все товары в торгуемые и глобализировать товарные рынки, результатом чего стала устойчивая тенденция реального удешевления товаров. Логично, что в отношении цен услуг наблюдается совершенно иная тенденция, ведь услуги «привязаны» к месту их оказания, и они либо могут перемещаться вместе с производителями услуг (как правило, на относительно небольшие расстояния), либо к местам оказания услуг могут перемещаться сами клиенты (масштаб таких перемещений также ограничен). Поэтому рынки услуг гораздо менее конкурентны, чем рынки товаров, а, следовательно, более консервативны. Однако и на рынках важнейших, наиболее ценных услуг с развитием транспорта, прежде всего с повышением скорости пассажирских перевозок, происходят качественные изменения. Возникает «глобализация предоставления услуг и международная конкуренция за клиентов, когда образовательные и лечебные учреждения конкурируют не с соседними школами и больницами и даже не с соответствующими заведениями в своей стране, а во всём мире» [48, с. 10]. Ещё ранее глобализировался рынок рекреационных услуг.

Дальнейшее расширение пространственных зон оказания услуг связано с качественно новыми шагами в повыше-

нии скоростей пассажирских перевозок [49]. Рост скоростей пассажирских сообщений будет также способствовать повышению мобильности трудовых ресурсов, давая возможность ежедневно преодолевать «в оба конца» уже не десятки, а сотни километров. Повышение мобильности человеческого капитала, а это — самый ценный ресурс современной экономики [50, с. 44], позволит повысить эффективность его использования, способствуя экономическому росту и сглаживанию межрегиональных диспропорций спроса и предложения труда, а также, возможно, смягчению проблемы структурной безработицы.

Таким образом, ускорение поездок, способствуя как повышению конкурентоспособности рынка услуг (а, значит, и снижению их цен, росту качества и разнообразия), так и расширению предложения трудовых ресурсов, является важным фактором экономического роста и повышения благосостояния людей. Правильный учёт этих эффектов позволит сделать более объективной экономическую оценку эффективности транспортных проектов в области пассажирских перевозок, а, значит, повысить качество инвестиционной деятельности в этой сфере. При этом важное значение имеет гармонизация инвестиционной и инновационной активности на транспорте [51]. Инновационные транспортные технологии, открывая новые возможности для удешевления и повышения дальности доставки товаров и поездок пассажиров, являются значимым фактором экономического развития. Поэтому экономическая политика, поддерживающая их реализацию за счёт как институциональных инструментов, так и бюджетных инвестиций в сооружение инновационной транспортной инфраструктуры, будет способствовать повышению динамики и устойчивости роста экономики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная в статье теоретическая модель влияния транспортных издержек на производство и сбыт товаров раскрывает экономическую взаимосвязь развития товарообменной и производственной деятельности, включая его инновационный аспект. Она позволяет углубить понимание



роли транспорта в обеспечении долгосрочного экономического роста, показывает приоритетность развития транспорта для поступательного увеличения объёмов и эффективности производства на основе взаимостимулирующих процессов расширения товарообмена и масштабов производства, повышения технологического уровня производственной и транспортной деятельности.

Это представляется важным для того, чтобы показать необоснованность противопоставления производства и обмена, имеющего глубокие исторические корни [4], и фетишизации производства (прежде всего тяжёлой промышленности), характерной для марксистского направления экономической мысли, особенно в её советском варианте, а сейчас возрождаемой в рамках противопоставляемого «стандартной» экономической теории так называемого «Другого канона экономической науки». Один из ярких представителей «Другого канона», Эрик Райнерт, например, отмечает, что экономисты «мейнстрима» «обращаются к теориям, основанным на обмене и торговле, которые не оставляют места технологиям и новым знаниям», и «путают носитель прогресса (торговлю) с причиной прогресса (технологией)», необходимо же, чтобы экономическая наука строилась «вокруг производства, а не обмена» [52, с. 81, 88].

Реализация экономической политики на основе подобных представлений может привести к тому, что товарообменная деятельность и её физическая основа — транспортно-логистическая инфраструктура — станут «узким местом» экономики, препятствуя развитию производства и сдерживая экономический рост. Именно это в своё время произошло в советской экономике [53].

Товарообменная деятельность (торговля и транспорт) — не пассивный «носитель прогресса», не вспомогательная, вторичная по отношению к производству, сфера, а не менее значимый фактор экономического развития, стимулирующий увеличение объёмов и повышение эффективности производства. Поэтому экономическая наука должна строиться не «вокруг производства» или «вокруг обмена», а исходить из понимания их взаимодействия, актив-

ной роли обеих этих сфер в процессе роста экономики, формируя соответствующие рекомендации для экономической политики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смит А. Исследование о природе и принципах богатства народов / Пер. с англ. — М.: Эксмо, 2009. — 960 с.
2. Mokyr, J. The Lever of Riches. Technological Creativity and Economic Progress. N.Y., Oxford University Press, 1990, 368 p.
3. Менгер К. Основания политической экономии // В кн.: К. Менгер. Избранные работы / Пер. с нем. — М.: Издательский дом «Территория будущего», 2005. — С. 57—286.
4. Hayek, F. A. The Fatal Conceit. The Errors of Socialism. Chicago, The University of Chicago Press, 1988, 194 p.
5. Хелпман Э. Понимание мировой торговли / Пер. с англ. — М.: Изд-во Института Гайдара, 2017. — 312 с.
6. Рикардо Д. Начала политической экономии и налогового обложения. Избранное / Пер. с англ. — М.: Эксмо, 2009. — 960 с.
7. Heckscher, E. The Effect of Foreign Trade on the Distribution of Income. Readings in the Theory of International Trade. Philadelphia, Blakiston, 1949, pp. 272—300.
8. Ohlin, B. Interregional and International Trade. The Economic Journal, March 1934, Vol. 44, pp. 95—102.
9. Tinbergen, Y. Shaping the World Economy. N.Y., Twentieth Century Fund, 1962, xviii + 330 p.
10. Загорский К. Я. Экономика транспорта. — М.-Л.: Госиздат, 1930. — 368 с.
11. Cameron, R. A Concise Economic History of the World: From Paleolithic Times to the Present. N.Y., Oxford University Press, 1993, 496 p.
12. Allen, R. Global Economic History. A Very Short Introduction. Oxford, Oxford University Press, 2011, XVI + 170 p.
13. Розенберг Н., Бирдселл Л. Е. Как Запад стал богатым: экономическое преобразование индустриального мира / Пер. с англ. — М.: Социум; Челябинск: ИРИСЭН, 2015. — 448 с.
14. Мачерет Д. А., Епишкин И. А. Взаимное влияние институциональных и транспортных факторов экономического развития: ретроспективный анализ // Journal of Institutional Studies. — 2017. — Т. 9. — № 4. — С. 80—100. [Электронный ресурс]: http://ecsocman.hse.ru/data/2018/01/10/1251078411/JIS_9_4_6.pdf. Доступ 24.01.2020.
15. Мачерет Д. А. Транспортный фактор формирования эпохи современного экономического роста // Экономическая политика. — 2019. — Т. 14. — № 1. — С. 154—179. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/transportnyy-faktor-formirovaniya-epochi-sovremennogo-ekonomicheskogo-rosta/pdf>. Доступ 24.01.2020.
16. Dupuit, J. De la mesure de l'utilité des Travaux Publics. Annales des Ponts et Chaussées, 1844, Vol. VIII, 2-ème série, pp. 332—375.
17. Мачерет Д. А. Влияние транспорта на социально-экономическое развитие // Экономика железных дорог. — 2003. — № 10. — С. 16—29.
18. Helpman, E., Krugman, P. R. Market Structure and Foreign trade. Cambridge, MA, MIT Press, 1985, 283 p.
19. Мачерет Д. А. Транспорт, экономический рост и общественное благосостояние // Мир транспорта. —

2017. — № 5. — С. 98–105. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1307/1583>. Доступ 24.01.2020.

20. Maddison, A. *Contours of the World Economy, 1-2030 AD. Essays in Macro-Economic History*. Oxford, Oxford University Press, 2007, 427 p.

21. Мачерет Д. А. Транспортные затраты: нагрузка на экономику или стимулятор роста? // Экономика железных дорог. — 2013. — № 8. — С. 24–33.

22. Лapidус Б. М., Мачерет Д. А. Модель и методика макроэкономической оценки товарной массы, находящейся в процессе перевозки // Вестник ВНИИЖТ. — 2011. — № 2. — С. 3–7.

23. Мачерет Д. А. О чём свидетельствует столетняя динамика показателей крупнейшей железнодорожных систем // Экономическая политика. — 2016. — Т. 11. — № 6. — С. 138–169. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-chem-svidetelstvuet-stoletnyaya-dinamika-market-pokazateley-kрупнейshih-zheleznodorozhnyh-sistem/pdf>. Доступ 24.01.2020.

24. McNeill, W. H. *The Rise of the West: A History of the Human Community*. Chicago, The University of Chicago Press, 1963, xviii + 829 p.

25. Ростовцев М. И. Общество и хозяйство Римской империи. — Т. 1. — СПб.: Наука, 2000. — 400 с.

26. Temin, P. *The Roman Market Economy*. N.Y., Princeton University Press, 2013, 320 p.

27. Findlay, R., O'Rourke, K. H. *Power and Plenty: Trade, War and the World Economy in the Second Millennium*. Princeton, Princeton University Press, 2007, 648 p.

28. Paine, L. *The Sea and Civilization. A Maritime History of the World*. N.Y., Vintage Books, 2015, 784 p.

29. Lopez, R. *The Commercial Revolution of the Middle Ages*. N.Y., Cambridge University Press, 1976, 180 p.

30. Spufford, P. *Power and Profit. The merchant in Medieval Europe*. London, Thames & Hudson, 2002, 432 p.

31. March, P. *The New Industrial Revolution. Consumers' Globalization and the End of Mass Production*. New Haven and London, Yale University Press, 2012, 320 p.

32. Смахова Н. Г., Кожевников Ю. Н., Мачерет Д. А. [и др.]. Издержки и себестоимость железнодорожных перевозок / Под ред. Н. Г. Смаховой, Ю. Н. Кожевникова. — М.: УМЦ железнодорожного транспорта, 2015. — 472 с.

33. Валеев Н. А. Управление эксплуатационными затратами железнодорожных компаний // Экономика железных дорог. — 2017. — № 12. — С. 26–36.

34. Захаров С. М., Шенфельд К. П. Развитие тягеловесного движения в мире // Вестник ВНИИЖТ. — 2013. — № 4. — С. 9–18.

35. Лapidус Б. М., Мишарин А. С. Грузопассажирская высокоскоростная магистраль «Транс-Евразия»: уникальный мегапроект // Экономика региона. — 2018. — Т. 14. — Вып. 2. — С. 339–352. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/gruzopassazhirskaya-vysokoskorostnaya-zheleznodorozhnaya-magistral-transevraziya-unikalnyy-megaproekt/pdf>. Доступ 24.01.2020.

36. Орешкин М. С. Перспективы экономической политики // Экономическая политика. — 2018. — Т. 13. — № 3. — С. 8–27. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-ekonomicheskoy-politiki/pdf>. Доступ 24.01.2020.

37. Березинская О. Б., Ведев А. Л. Инвестиционный процесс в российской экономике: потенциал и направления активизации // Вопросы экономики. —

2014. — № 4. — С. 4–16. DOI: <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2014-4-4-16>.

38. Идрисов Г. И., Синельников-Мурылев С. Г. Бюджетная политика и экономический рост // Вопросы экономики. — 2013. — № 8. — С. 35–59. DOI: <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2013-8-35-59>.

39. Идрисов Г. И., Синельников-Мурылев С. Г. Формирование предпосылок долгосрочного роста: как их понимать? // Вопросы экономики. — 2014. — № 3. — С. 4–20. DOI: <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2014-3-4-20>.

40. Хусаинов Ф. И. Нерегулируемые железнодорожные тарифы: российский опыт 1850–1880-х годов // Бюллетень транспортной информации. 2009. — № 8. — С. 15–22.

41. *The Cambridge Economic History of Modern Europe*. Vol. 1. 1700–1870. Cambridge, Cambridge University Press, 2010, 330 p.

42. Голубев А. А. Концессионный расцвет российской чугунки // Отечественные записки. — 2013. — № 3 (54). — С. 271–282. [Электронный ресурс]: <https://magazines.gorky.media/oz/2013/3/koncessionnyj-raszvet-rossijskoj-chugunki.html>. Доступ 24.01.2020.

43. Рышков А. В., Максимушкин В. А., Постников С. Б. Транспортная инфраструктура — основа долгосрочного социально-экономического развития // Экономика железных дорог. — 2016. — № 12. — С. 12–20.

44. Решетова Е. М. Механизмы финансирования дорожной инфраструктуры в России и в мире: история развития, современное состояние, лучшие мировые практики. — М.: Изд. дом ВШЭ, 2015. — 551 с.

45. Фюкс Р. Зелёная революция: экономический рост без ущерба для экологии / Пер. с нем. — М.: Альпина Нон-фикшн. — 2016. — 330 с.

46. Хачатуров Т. С. Экономика транспорта. — М.: Издательство Академии наук СССР, 1959. — 588 с.

47. Suntum, U. van. *Die Unsichtbare Hand. konomisches Denken Gestern und Heute*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2013, 330 p.

48. Май В. А. Между модернизацией и застоем: экономическая политика 2012 года // Вопросы экономики. — 2013. — № 2. — С. 4–23. DOI: <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2013-2-4-23>.

49. Лapidус Б. М., Мачерет Д. А. Методология оценки и обеспечения эффективности инновационных транспортных систем // Экономика железных дорог. — 2016. — № 7. — С. 16–25.

50. Капелюшников Р. И. Сколько стоит человеческий капитал в России? Часть I // Вопросы экономики. — 2013. — № 1. — С. 27–47. DOI: <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2013-1-27-47>.

51. Измайкова А. В. Классификация инноваций на железнодорожном транспорте и инвестиционный фактор их реализации // Вестник ВНИИЖТ. — 2015. — № 3. — С. 35–41. [Электронный ресурс]: <https://www.journal-vniizht.ru/jour/article/download/35/36>. Доступ 24.01.2020.

52. Райнерт Э. С. Как богатые страны стали богатыми, и почему бедные страны остаются бедными / Пер. с англ. — М.: Изд. дом ВШЭ, 2014. — 384 с.

53. Хусаинов Ф. И. Советские железные дороги: миф о «золотом веке» // Экономическая политика. — 2013. — № 5. — С. 39–61. [Электронный ресурс]: <https://publications.hse.ru/mirror/pubs/share/direct/248142309.pdf>. Доступ 24.01.2020.

54. Чупров А. И. Железнодорожное хозяйство. Его экономические особенности и его отношения к интересам страны. — М.: Типография А. И. Мамонтова и К°, 1875. — 362 с.





Theoretical Comprehension of the Role of Transport in Ensuring Long-Term Economic Development



Macheret, Dmitry A., JSC Russian Railways Russian University of Transport, Moscow, Russia.*

Dmitry A. MACHERET

ABSTRACT

The objective of the study described in the article is to develop a theoretical basis for assessing the long-term impact of transport on economic development in the context of a consistent decrease in transport costs. At the same time, transport costs are proposed to be considered considering the risks of loss of goods during transportation and violations of delivery times, as well as damage to the goods owner from blocking of the capital embodied in the product during its transportation.

Using deductive method in economics, a theoretical model of influence of transport costs on production and sale of goods is proposed, based on which it is concluded that reducing transport costs is a catalyst for economic growth, launching long-term interrelated processes of expanding the geographical area of sales of goods and ensuring growth in volumes, scale, and production efficiency. In contrast, lack of significant progress in development of transport and persistence of high transport costs contribute to conservation of the technical and technological situation and low production efficiency. Based on examples from economic history and modern practices, using methods of statistical analysis and technical and

economic calculations, it is shown that the proposed model is consistent with empirical data.

Based on the developed model, recommendations were formulated regarding the directions of transport developments desirable for ensuring economic growth. In particular, the need for development of heavy traffic on railways is revealed that will serve to reduce the cost of transportation of relatively inexpensive goods and expand the possibilities for their delivery over long distances, as well as for high-speed transportation for expensive goods that are sensitive to delivery time. Attention is focused on importance of creating an appropriate transport infrastructure and the need to unite the efforts of the state and business for this purpose, contributing to development of transport infrastructure through both institutional instruments and budget investments within the framework of private-public partnership projects.

It is concluded that commodity exchange (trade and transport) is a significant factor in economic development, stimulating an increase in production volumes and efficiency. Therefore, economics should not be built «around production» or «around exchange» but proceed from their interaction and the active role of both of these spheres in the process of economic development.

Keywords: transport, economic growth, interregional trade, transport costs, transportation distance, scale of production, innovation.

*Information about the author:

Macheret, Dmitry A. – D.Sc. (Economics), Professor, First Deputy Chairman of the Joint Scientific Council of JSC Russian Railways, Head of the Department of Economics of Transport Infrastructure and Construction Business Management of Russian University of Transport, Moscow, Russia, macheretda@rambler.ru.

Article received 24.01.2020, accepted 18.05.2020.

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

Background. The importance of economic exchange, based on the use of advantages in production of certain goods, for specialization and economic efficiency growth was shown by Adam Smith [1, pp. 69–82; 443–445]. It is not by chance that J. Mokyr calls the component (type) of economic growth based on expansion of exchange, beneficial for all parties involved, the Smithian growth [2]. C. Menger [3] and F. A. von Hayek [4] emphasized the productive nature of exchange: an increase in the value of goods because of exchange is tantamount to creating a new material good, and therefore exchange is no less important for economic growth than production.

The most significant increase in the value of goods is often achieved during international (interregional) exchange, when its participants are separated by considerable distances, and the economic features of production, sale and consumption of goods differ significantly. According to E. Helpman, confirmed by the analysis of economic history from ancient times to the present day, historical data show that trade between distant trading partners and the economic development were complexly interrelated and that this trade played a major role in historical development of the world economy [5, p. 12].

Theory of international trade, whose foundations were laid at the beginning of 19th century by D. Ricardo [6], and development was ensured at the beginning of 20th century by E. Heckscher [7] and B. Ohlin [8], emphasizes the determinant role of the production features in the regions between which commodity exchange is carried out: the comparative labour costs for production of certain goods (for Ricardo), relative endowments of the factors of production (for Heckscher and Ohlin). But the economic characteristics of the transport and logistics arteries of goods movement are also particularly important within the chain of commodity exchange. First, these characteristics determine costs of transportation, where the following components can be distinguished:

- Direct costs of transportation of goods (freight and other rates).
- Risks associated with a possibility of goods loss or damage during transportation, as well as risks of later delivery of goods to the recipient.
- Implicit costs of the owner of goods associated with blocking of the capital embodied

in the transported goods during the delivery period, depending on speed and distance of transportation.

Secondly, transit capacity and quality characteristics of the transportation routes determine both the potential of total volumes of goods available for transportation, and their possible range.

In the theory of international trade, transport costs are considered when calculating the coefficients of the so-called «gravity equation» proposed by J. Tinbergen [9] and allowing to estimate the volume of trade between two countries depending on several factors. In this model, transport costs act as obstacles to international trade. With an increase in transport costs, the range of non-tradable goods produced exclusively for local consumption is expanding [5, p. 49], which means that opportunities for regional specialization and the use of comparative advantages are restrained.

It seems that considering the role of transport in commodity exchange processes only as of a cost source that forms barriers to trade and restrain opportunities for economic specialization does not allow us to adequately comprehend its real significance for economic development. Although transport costs can certainly be regarded as a kind of «friction» in the exchange system, transport is not a barrier, but a material basis for its implementation. The aforementioned productive nature of exchange at any significant distances can be realized only with the help of mainline transport. The active role of transport in stimulating economic development, shaping the era of modern economic growth has been noted, based on empirical analysis, in a number of works, in particular, in [10–15].

A theoretical comprehension of the role of transport in improving the welfare of society, creating consumer surplus is presented in the classic work of Jules Dupuit [16]. Dupuit's approaches were developed in work [17], where it is shown how creation of interregional transportation, which makes it possible to specialize production in each region, forms not only consumer surplus, but also the manufacturers' surplus.

Trade effects comprise particularly the effect of diversity, associated with the possibility for a consumer to choose from a wider range of goods [18]. In work [19], based on a



theoretical model, it is shown how expansion of the assortment of goods, achieved through opening of transportation links, increases production volume and consumer surplus.

Despite the presence of a significant body of works, revealing certain aspects of the impact of transport on economic growth and social welfare, the role of transport in ensuring long-term economic development requires in-depth theoretical comprehension. The *objective* of this study is to identify, using deductive method in economics, the essence of influence of progressive development of transport and reduction of transport costs on the change in production volume and prices of goods, as well as on increasing the scale and technical and technological level of production, and, thereby, on reducing production costs. This approach allows us to show the active role of transport in long-term stimulation and maintenance of economic growth, and the dynamic nature of consideration of transport costs makes it possible to look at them from a new perspective: if statically transport costs are just a barrier to trade and economic growth, then in dynamics, *decreasing* transport costs are an incentive to increase production volume and expand the geography of sales of goods, reduce market prices and increase consumer welfare. It is important to note that, while reducing *unit* costs of transportation of goods, their *total value* in the long run grows [20]. As shown in [21], this indicates not an increase in the «transport load» on the economy, but that transport costs, replacing, due to recombination of production resources in the process of regional specialization and interregional exchange, a more significant value of other types of costs, contribute to the growth of economic efficiency.

The *methods* of historical and statistical analysis as well as technical and economic calculations were used to demonstrate consistency of the formed theoretical model with economic practices.

Theoretical model of influence of transport costs on production and sale of goods

The influence of reliability of transportation and of the value of transport costs on production features and sales of goods can be revealed using the following model.

Let a product be produced in a certain region (Region 0) and technically can be delivered to other regions (1, 2, 3, etc.).

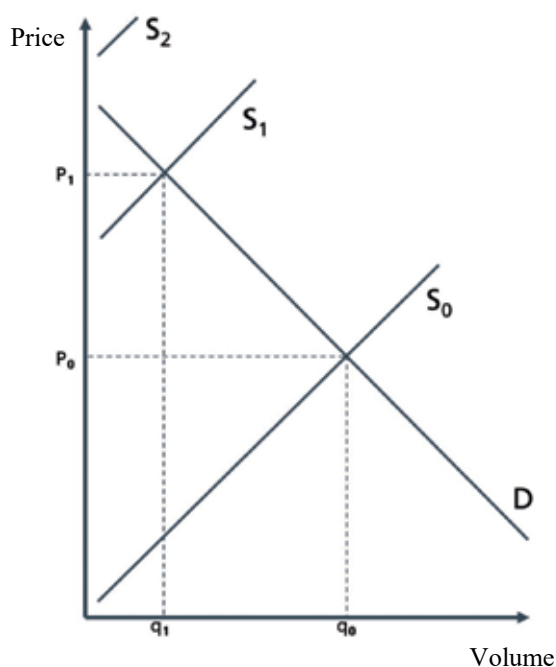
The demand curve for the product (D) is the same in all regions (this condition is not essential and is taken for a better visualization; with differences in demand curves in the regions, the conclusions will not fundamentally change).

Production in Region 0 is used primarily to meet demand in the region. In the absence of transportation links, the production volume will be q_0 . When transportation links are created, additional volumes of goods are produced for delivery to other regions. This condition, as well as the amount of transport costs, determines the nature of supply curves in regions 1, 2, etc. (Transport costs, as mentioned above, consider not only the cost of transporting goods, but also possible losses associated with non-safety of goods and non-respect of delivery times, or corresponding insurance payments, as well as damage to the goods owner from blocking of working capital, embodied in a product, during transportation, and whose evaluation methodology is described in [22]. Thus, reduction of transport costs is influenced not only by direct reduction in the cost of transportation, but also by an increase in transportation reliability and speed).

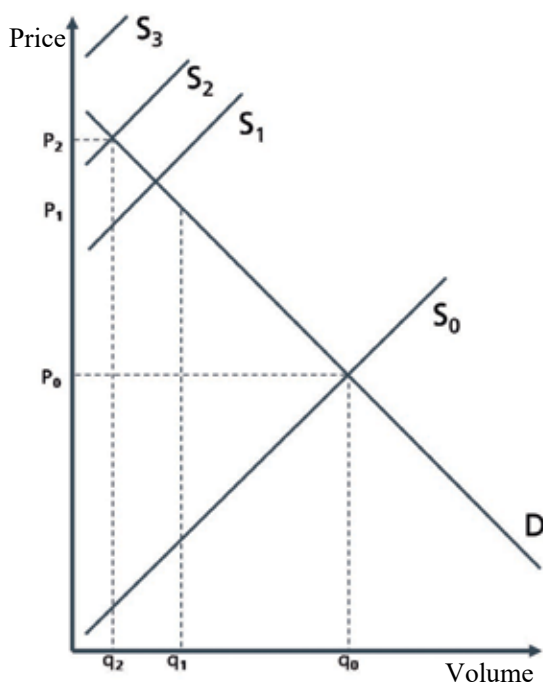
Supply curves in different regions shift upward with increase in distance from the region of production, sales volumes are, accordingly, lower than in the region of production, and prices are higher.

With a high level of transport costs (Pic. 1), supply prices in remote regions are significantly higher than in the production region. The geographical area of sales with the considered combination of supply and demand characteristics will be limited to Region 1. In Region 2 and more remote regions, the product will no longer be in demand: although there is demand for it and delivery is technically possible, supply curves lie above the demand curve. Thus, the high level of transport costs limits both the geographic area of sale of goods and the volume of sales. Accordingly, the volume of production is also limited (in this case, it will be $q_0 + q_1$). In conditions of limited sales, organization of mass production is impossible, which is a constraint for introduction of innovations, and production costs are high, which is reflected in «steepness» of the supply curve in the production region.

A significant reduction in transport costs shifts the supply curves downward in remote



Pic. 1. The influence of transport costs on the sale of goods to remote regions.

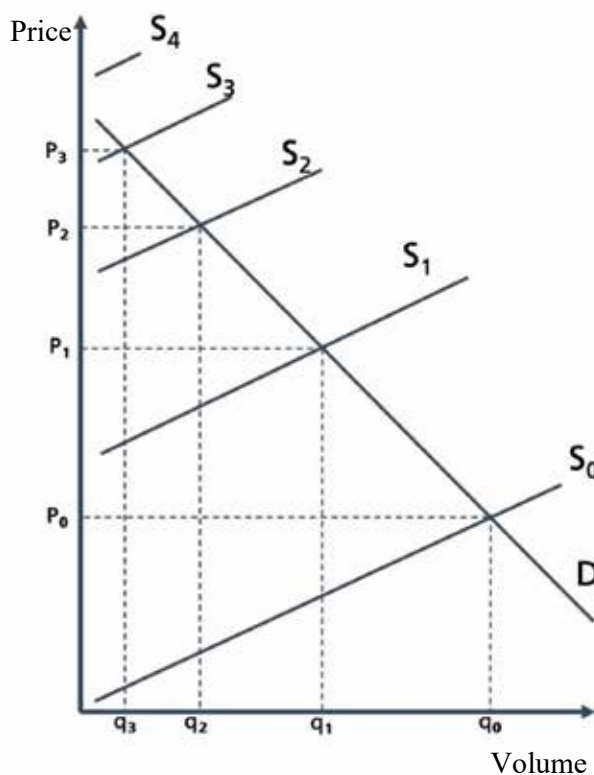


Pic. 2. Changes in market characteristics under the influence of reduced transport costs in a short term.

regions (Pic. 2). As a result, the geographic sales area of the product is expanding, and the sales volume increases as well in those regions where it was sold earlier. Accordingly, the total volume of production increases, as do total

producers' profits and effects received by consumers («consumer surplus»). In other words, lower transport costs contribute to economic growth and increased consumer welfare.





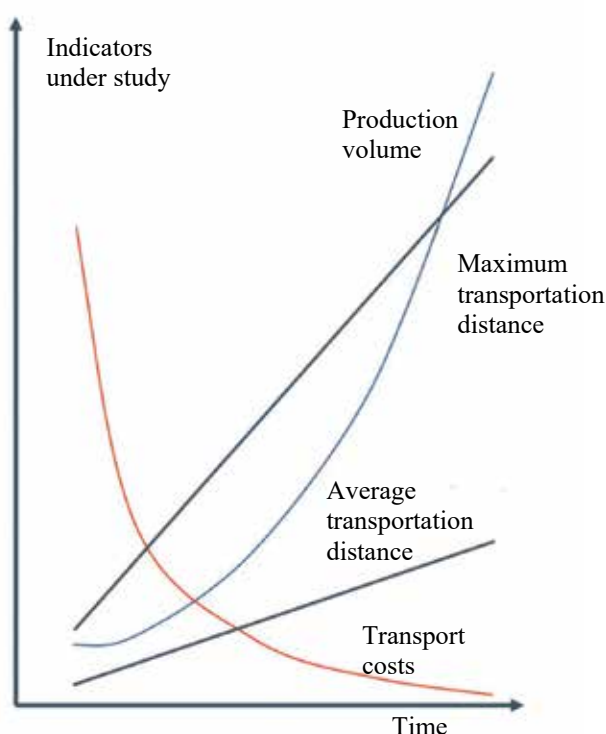
Pic. 3. Changes in market characteristics under the influence of lower transport costs in the long run.

The *long-term* consequences of lower transport costs are even more impressive. The resulting extension of the sales area and growth of production volume stimulate an increase in the scale of production, accompanied by improvement of equipment and technologies, which leads to a decrease in production costs. Graphically, this is expressed in a decrease in the slope of the supply curves (Pic. 3). As a result, the geographic area of product sales is expanding even more, prices are falling and sales are growing in those regions where the product was sold earlier, including the region of production.

Special attention should be paid to the last moment. In the short term, expansion of export of goods to other regions can lead to higher prices and even to reduction in consumption in the region of production. We have abstracted from such a possibility in this model, but it should be noted. Accordingly, reduction in export of goods due to transport or trade barriers in the short term will lead to a decrease in prices and an increase in consumption in the region of its production. In this regard, sometimes an illusion arises, primarily in the

mass consciousness, that export of goods is unprofitable to consumers in the region of its production, and export restrictions will benefit them. However, let us emphasize again, such consequences can occur only in the short term. In the long term, expansion of export of goods, subject to an increase in the technical and technological level of production and economies of scale, will lead to a decrease in prices and an increase in consumption in the production region also. Therefore, encouraging export of goods in the long term can be beneficial not only to producers, but also to consumers in the region of production.

It should be noted that an increase in volume and distance of distribution of goods allows for economies of scale and innovation in the transport sector. As a result, transport costs will decrease even more, which will entail a further convergence of supply curves in different regions, an expansion of the geographical scale of sales, and an overall increase in production volumes. This will make a new increase in the scale and technical and technological level of production profitable, which will lead in turn to continuation of



Pic. 4. Long-term relationship of multi-stage changes in costs, production volumes and transportation distance.

«flattening» of supply curves and will give a new impetus to increased production volumes, sales range, and to a decrease in prices. In other words, the processes shown in pictures 2 and 3 will be iteratively repeated, and each stage will be a new step towards economic development and improving the well-being of people.

In practice, the described processes will be intertwined and chronologically paralleled, since at each period of time some manufacturers will respond to new opportunities associated with decrease in transport costs and expansion of sales geography, and will engage in an increase in scale and technical and technological improvement of production, while some carriers will respond to the already accomplished increase in production and transportation, expand the scale of their activities and introduce innovations, seeking to reduce transport costs. Therefore, the resulting graphs of long-term multi-stage changes in transport costs and production volumes can be presented not in the form of broken lines, but in the form of smooth curves (Pic. 4). Since the growth of the geographical scale of sales and the average distance of transportation occurs under the

influence of both a decrease in transport costs and a decrease in production costs, the corresponding graphs can be represented as straight lines. (This is consistent with empirical data on the growth of the average distance of transportation in the largest railway systems of the world for more than a century [23, pp. 148–149]).

Thus, reducing transport costs, considering an increase in reliability and speed of transportation, is a catalyst for economic growth, launching long-term interconnected processes of reducing production and transport costs, increasing the volume, scale, and efficiency of production, and expanding the geography of sales of goods.

But what will happen in the conditions of long-term preservation of high transport costs, i.e. the situation shown in Pic. 1? In this case, in regions remote from the place of production, it will be possible to organize a profitable production of this product or its substitute of lower quality («ersatz product») even at a significantly higher level of production costs than in the region of initial production, but at a lower, compared to imported goods, price. As



a result, consumers in remote regions will receive an incentive to switch to consumption of locally produced substitutes, competitiveness of which is ensured by the only factor which is the high cost of imported goods. At the same time, economic resources that are ineffectively spent on production of substitute goods will be diverted from production of those goods in which these regions have a comparative advantage, and which would be advisable to be produced not only for domestic consumption, but also for export to other regions. Consequently, regional specialization, which is an incredibly significant factor in economic growth, will be constrained. Under such conditions, there will not be sufficient incentives for the growth of the scale and technical and technological level of production in «Region 0», and in remote regions, production may be into mothballs at an even lower level of technology and efficiency.

So, if reduction in transport costs is a powerful incentive for technical and technological development and growth of economic efficiency, then high transport costs create conditions for conservation of equipment, technologies, and low efficiency. (It should be noted that other barriers, like customs and other barriers) that impede development of commodity exchange operate in a similar way).

The higher are transport costs on the one hand, and the lower are production costs of a product or its substitutes in remote regions, on the other hand (in other words, the higher is the transport component which is the ratio of transport costs to production costs or the price of a product), the smaller are the geographical area of sale of the product and economically justified range of its transportation. Therefore, with high transport costs, «cheap» goods are non-tradable, and for more «expensive» goods, the range and volumes of transportation and sale are limited.

The closer are supply curves of a product in the region of production to the supply curves in remote regions of sale, the higher requirements must be met by local production of this product or substitute products in remote regions to be competitive.

Empirical evidence

Long-distance trade and, accordingly, transportation of goods over considerable

distances existed already in ancient times [4; 24]. However, due to high transport costs associated, among other things, with unreliability and even danger of travel, long-distance trade was carried out mainly in expensive (silk, spices, jewellery) and so-called non-competing goods, that is, in goods that were in short supply or were not produced at all in the importing regions, or whose production (or of their substitutes) in sufficient quantity to meet demand was difficult or impossible due to lack of necessary resources.

In those cases, when it was possible to master local production of substitute goods, first of all, handicrafts, this often happened indeed, even if such production was small and primitive, and therefore expensive, and quality of products was lower than that of imported goods [25, pp. 164–168]. The gaps between supply curves across regions due to high transport costs (as shown in Pic. 1) created the conditions for this approach. In the absence of impressive progress in transport, there was no significant reduction in transport costs. This is evidenced by persistence in the Roman Empire for several centuries of significant interregional price differences without noticeable changes [26]. High transport costs there became a significant obstacle to enlargement of production and introduction of innovations, which ultimately blocked the possibility of industrial revolution during that period [15, pp. 160–162].

In the Middle Ages, a high level of transport costs persisted, which also predetermined preservation of the character of long-distance trade, where expensive and non-competitive goods still dominated: furs, spices, silk, porcelain, tea, silver, copper, etc. [27].

In the late Middle Ages (in 14th–15th centuries), due to improvement of maritime transport, the cost of transportation began to decrease, including due to increase in its reliability, which was reflected in a significant decrease in insurance rates [28]. This contributed to implementation in Europe of the so-called «commercial revolution» [29], which began around 13th century and continued until the beginning of 18th century. The commercial revolution provided not only an increase in the volume and expansion of the geography of trade, but also stimulated development of new forms and instruments of commercial activity (accounting, banking, and

Table 1

Acceleration of economic growth because of commercial revolution and the Great Geographical Discoveries

	1000–1500		1500–1820	
	Average annual GDP growth rate, %	Average annual GDP growth rate per capital, %	Average annual GDP growth rate, %	Average annual GDP growth rate per capital, %
Worldwide	0,15	0,05	0,32	0,05
Western Europe	0,28	0,12	0,40	0,14
The Netherlands	0,35	0,12	0,56	0,28
Great Britain	0,25	0,12	0,80	0,27

Source: Maddison, 2007 [20].

credit systems, etc.), an increase in money circulation. It is rightly regarded as the beginning of the economic revival of Europe, a qualitatively new stage in development of the Western European economy, which became the basis for changing the structure of the European market and society [30]. The structure of trade also began to change. Thus, by 16th century, grain, timber, fish, wine, salt, metals, fabrics, and raw materials for textile industry had constituted a significant part of the international trade [11].

The growth in volume and distance of transportation of goods during the commercial revolution and the subsequent era of the Great Geographical Discoveries contributed to acceleration of economic growth in 16th–18th centuries and, first of all, in the countries which were most successful in international trade: in the Netherlands and England (Table 1).

Nevertheless, before creation of a network of improved roads and canals and appearance of steam transport in the early 19th century, the progress of transportation was insufficient to drastically reduce transport costs worldwide. Therefore, up to 18th century, trade between distant regions still *«consisted mostly of non-competing products»* [5, p. 19]. The advent of railways and steamships opened qualitatively new opportunities for development of trade: transportation became massive, regular, reliable, and relatively cheap. Therefore, *«throughout 19th century trade developed rapidly, partly due to the significant decline in transport costs, partly due to the rise in industrial production»* [5, p. 19]. The developed model shows that these were not just complementary, but mutually supportive factors, and decrease in transport costs and expansion of exchange as a result of improved means of transport can be considered not just a catalyst, but a trigger

of the industrial revolution and formation of the era of modern economic growth. This logically follows from the developed model and corresponds to the sequence of events in economic history: commercial revolution and the Great Geographical Discoveries preceded the industrial revolution. (In more detail, the impact of transport development on implementation of industrialization and the entry of mankind into the era of modern economic growth is described in [15]).

In this regard, agreeing with Helpman’s thesis that trade between distant partners influenced economic development, and economic development had the impact on trade [5, p. 21], I would like to clarify another his statement that changes in the spheres of production and consumption have significantly influenced the volume of trade, initially low, and its subsequent growth [5, p. 21]. Of course, trade and transport activities depend on production, because, after all, only what is produced can be sold and transported. But it is precisely an opportunity for profitable sale of goods to remote regions, which opens thanks to improved transport and lower transport costs, that stimulates the growth of volumes and scale of production and interregional specialization, which in turn allows producing a larger volume of goods while using the same resources. This follows from the theoretical model and is confirmed by the course of economic history. As noted by K. Ya. Zagorsky, *«first, new ways and means of transport are created, which open up opportunities for obtaining and selling [goods] in all directions, and only then production, in turn, can begin to be built based on these new conditions...»* [10, p. 43].

The convergence of product supply curves in different regions, described in the developed model, is manifested in a decrease in price



Table 2

Influence of development of transportation links on grain prices in the regions of Prussia in the lean years of 19th century (the price of rye in agricultural regions in 1817 = 100)

Lean years	Rye price			Wheat price			Railway features
	Agricultural regions	Industrial regions	Difference	Agricultural regions	Industrial regions	Difference	
1817	100	236	136	171	296	125	No railways
1847	131	178	47	175	227	52	Initial stage of railway construction
1855	141	183	42	201	232	31	Significant railway network
1867	128	148	20	180	209	29	Main economic centres are connected by railways

Source: author's calculations according to data (Chuprov, 1875 [54]).

Table 3

Impact of lower transportation costs on wheat prices in Minnesota (USA) and England at the end of 19th century (wheat price in Minnesota in 1891–1894 = 100)

Time period	Minnesota	England	Difference
1871–1874	118	271	153
1875–1878	117	231	114
1879–1882	149	212	63
1883–1886	104	168	64
1887–1890	118	150	32
1891–1894	100	138	38

Source: author's calculations according to data (Zagorsky, 1930 [10]).

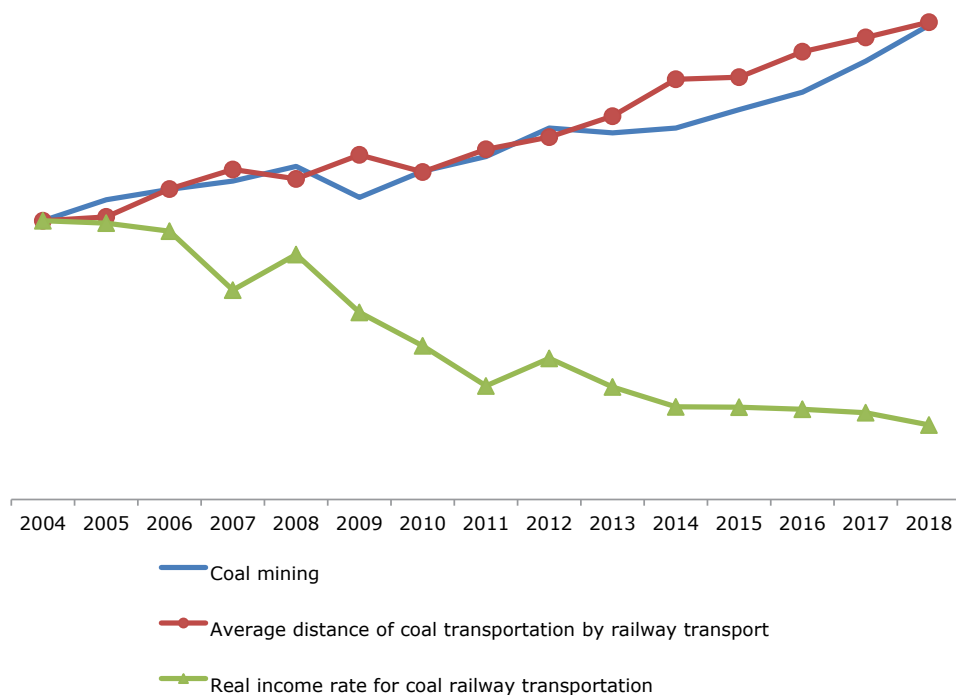
differences between regional markets. For example, the emergence of railways in 19th century and further development of the railway network in Prussia significantly reduced the differences in grain prices in country's agricultural and industrial regions (Table 2). This was especially evident in lean years: in the absence of railways, the corresponding differences were exceptionally large, while price differences consistently decreased with development of railway transportation, which, in comparison with horse-drawn transport, made delivery of goods both several times cheaper and accelerated, and, besides, significantly increased its reliability. A decrease in the cost of delivering grain from the United States to England (by 80 % from 1868 to 1895 [10, p. 59]), due to simultaneous reduction in the cost of railway and sea transportation, led to an almost twofold reduction in the price of wheat in England (Table 3). At the same time, in the agricultural states of the United States, there was no upward trend in wheat prices.

It follows from the presented model, that in the long run, there should be a general decline in the price level of traded goods. This

conclusion is also confirmed by practices. For example, in the United States, over the past fifty years, the price index for manufactured goods has consistently lagged behind the services price index. And since the beginning of 21st century, there has been a significant decline in prices of durable consumer goods (delivered largely from China) in contrast with rising prices for services [31].

Another clear illustration of consistency of the theoretical model with empirical data is the long-term dynamics of production volumes, average transportation distances, and real profitable rates for railway coal transportation¹ in the Russian Federation (Pic. 5). It is noteworthy that during the global crisis, a decrease in the distance of coal transportation (in 2008) preceded a drop in coal production (in 2009). This is an illustrative example of the impact of commodity exchange processes, e.g., of the range of sales of goods, on the volume of production.

¹ The choice of an example of railway transportation of coal is since almost all coal mined in Russia is transported by railway transport, and one can judge the sale of coal in general following the indicators of its transportation by rail.



Pic. 5. Indices of indicators of coal production and coal railway transportation in the Russian Federation, 2004–2018 (%), 2004 = 100 %. Source: author's calculations according to Rosstat [Federal State Statistics Service], JSC Russian Railways data.

Thus, the developed theoretical model is consistent with empirical data and allows a better understanding of the role of transport in economic history and in ensuring long-term economic growth.

Conclusions and recommendations

Being convinced of the «explanatory power» of the developed theoretical model, it is necessary to focus on the conclusions that can be drawn on the basis of that model regarding directions of transport development that are desirable for economic growth.

In the modern global economy, the distance of transportation of goods has reached a significantly high level. Nevertheless, there are reserves for further growth in efficiency of the economy by increasing both the maximum and average transportation distance. At the same time, relatively cheap goods are more sensitive to the explicit component of transport costs, i.e., freight charges (level of transport tariffs). If sea and pipeline transport, due to technological features, provide a lower level of transportation costs and tariffs, which allows effective intercontinental and transcontinental transportation of even raw materials, then the

level of transportation costs and tariffs for railway and road transportation is much higher. Its reduction would make it possible to expand the sales areas for the cheapest and highest quality raw materials in case of inland transportation. As follows from the presented model, this would have positive long-term consequences.

The key direction to reduce the cost of transportation is to increase weight of transporting vehicles, since the cost of transportation and load weight of a vehicle are inversely related [32, pp. 253–269]. In railway transport, the average train load weight and the share of heavy trains are very significant factors for the total operating costs [33]. The heavy trains traffic to increase the volume and reduce the cost of transportation of bulk cargo (coal, ore, etc.) is actively developing on railways in several countries (Australia, Brazil, Canada, China, USA, Sweden, South Africa), as well as in Russia [34]. Modernization of the infrastructure of the so-called Eastern range of the Russian railways network to develop transit of heavy trains is an important component of the long-term development program of JSC Russian Railways until 2025. Its implementation will



improve transport opportunities for domestic exporters.

The more expensive are the transported goods, the higher is their sensitivity to the implicit component of transport costs which is damage from blocking of the capital embodied in the transported goods. It is possible to reduce it by markedly increasing delivery speed. One of the options for solving that problem is the use of high-speed railway traffic (at a speed of over 200 km/h) for delivery of expensive goods, which has usually been used for passenger traffic only. Currently, options for organizing transcontinental high-speed railway transportation of goods, incl. e-commerce goods are developed [35].

Thus, implementation of heavy-haul transportation for relatively cheap goods and of high-speed transportation for expensive ones will help reducing delivery costs of both, and, thereby, increasing the volume of world production. The implementation of such transportation, being, of course, a business decision, requires availability of appropriate infrastructure. Meanwhile, development of the Russian transport infrastructure lags behind business requirements. *«At present, the need of the Russian economy for development and improvement of infrastructure is obvious», which can have a «long-term positive impact on economic growth», «become the basis for emergence of new areas of economic activity ... as well as create prerequisites for active involvement of the Russian economy in international trade»* [36, p. 23].

The construction of transport infrastructure is characterized by high capital intensity and slow payback, which makes it unattractive and difficult to implement for private business. Considering that such an infrastructure, on the one hand, stimulates economic growth, and on the other hand, it can be used to transport many different goods produced by various industries, that is, it does not have a distorting effect on the structure of production, government investments in its construction are more justified than in any other sectors of the economy. It is pertinent to recall that Adam Smith also attributed construction and maintenance of transport infrastructure to the responsibilities of the state [1, pp. 675–676]. We must agree with the opinion that in modern Russian conditions *«for transport ... measures of state support for investment activities are*

tactically and strategically justified» [37, p. 12]. *«The constant growth of funding of development of transport infrastructure ... will improve production efficiency in the long term»* [38, p. 52]. Such expenses *«should be considered as investments in long-term economic growth»* [39, p. 14].

In this regard, it seems expedient for the state to participate in development of not only the road, but also the railway infrastructure for both heavy-haul traffic and high-speed transportation. At the same time, the world and Russian practices show that transport construction becomes most dynamic if private initiative is engaged [14; 15; 40–42]. Therefore, an even more important task is to create attractive conditions for private investment in transport infrastructure.

Thus, the tasks of developing transport infrastructure should be solved by the state and business together. The state, through direct budgetary and concessional debt financing, improving the tariff system, creating conditions for attracting private capital, removing unnecessary restrictions on the use of property of transport organizations in economic circulation, should form a frame of the transport system, harmonize development of different modes of transport and transport facilities of regions, create favourable opportunities for both domestic and international economic relations. Business must participate in investments in development and modernization of infrastructure, to ensure renewal of rolling stock at the expense of its own and attracted financing [43, p. 20]. An option for development of transport infrastructure that integrates private and public participation is the model of private-public partnership, which has shown itself through global practices to advantage [44, pp. 304–356].

Discussing the problems of further growth in the distance of transportation of goods in the interests of increasing efficiency of the economy, it should be noted that some already implemented options for embedding transport in production chains with a length of several thousand kilometres cause a critical reaction due to an increase in the load on environment [45, pp. 204–205]. It is not excluded that it can generate a public request for prohibitive measures on the part of the state in the spirit of fighting the so-called «excessively long-

distance» transportation, which Soviet economists regarded as irrational [46, pp. 227–233]. Taking such measures is highly undesirable. The problem of the impact of transport on the environment should be solved systematically, with development of appropriate economic, preferably market, mechanisms by the state to internalize negative externalities [45; 47].

As noted above, development of transport systems and reduction of transportation costs made it possible to turn almost all goods into tradable ones and to globalize commodity markets, which resulted in a steady trend of real cheapening of goods. It is logical that a completely different trend is observed regarding prices of services, since services are linked to the place of their provision and either can move with service providers (usually over relatively short distances), or the clients themselves can move to the places of service provision (the range of such movements is also limited). Therefore, markets for services are much less competitive than markets for goods, and, therefore, more conservative. However, qualitative changes are taking place in the markets of the most important, most valuable services, following development of transport, primarily an increase in speed of passenger traffic. There is *«globalization of service provision and international competition for clients, when educational and medical institutions compete not with neighbouring schools and hospitals and not even with corresponding institutions in their own country, but all over the world»* [48, p. 10]. The market for recreational services had been globalized even earlier.

Further expansion of spatial areas of service provision is associated with qualitatively new steps in increasing speed of passenger traffic [49]. The increase in speed of passenger traffic will also contribute to an increase in mobility of labour resources, making it possible to travel «both ways» every day, not for tens, but hundreds of kilometres. Increasing mobility of human capital, and this is the most valuable resource of the modern economy [50, p. 44], will improve efficiency of its use, contributing to economic growth and smoothing inter-regional imbalances in labour supply and demand, as well as, possibly, mitigating the problem of structural unemployment.

Thus, acceleration of travel, contributing to both increasing competitiveness of the

services market (which means lower prices, increased quality and diversity) and expanding supply of labour resources, is an important factor in economic growth and improving the well-being of people. Correct accounting of these effects will make it possible to make a more objective economic assessment of efficiency of transport projects in the field of passenger transportation, and, therefore, will improve quality of investment activities in this area. At the same time, harmonization of investment and innovation activity in transport is of great importance [51]. Innovative transport technology, opening new opportunities for reducing the cost and increasing the distance of delivery of goods and passenger travel, is a significant factor in economic development. Therefore, the economic policy supporting its implementation, through both institutional instruments and budgetary investments in construction of innovative transport infrastructure, will help to increase the dynamics and sustainability of economic growth.

Conclusion. The theoretical model of influence of transport costs on production and sale of goods developed in the article reveals the economic relationship between development of commodity exchange and production activities, including its innovative aspect. It allows to deepen the understanding of the role of transport in ensuring long-term economic growth, shows the priority of transport development for a progressive increase in volume and efficiency of production based on mutually stimulating processes of expanding commodity exchange and scale of production, increasing the technological level of production and transport activities.

This seems important to show the groundlessness of opposing production to exchange, which has deep historical roots [4], and of fetishizing production (primarily heavy industry), characteristic of the Marxist direction of economic thought, especially in its Soviet version, and now being revived in within the contrasted «standard» economic theory of the so-called «Other Canon» of economics [heterodox economics]. Erik S. Reinert who is among the brightest representatives of the «Other Canon» notes, for example, that economists of the «mainstream» turn to theories based on exchange and trade, which leave no place for technology and new



knowledge, and confuse the bearer of progress (trade) with the cause of progress (technology), while it is necessary that economics was built around production, not exchange [52, pp. 81, 88].

The implementation of economic policy based on such ideas can make commodity exchange activity and its physical basis, comprising transport and logistics infrastructure, become a «bottleneck» of the economy, hindering development of production, and restraining economic growth. This is exactly what happened in the Soviet economy [53].

Commodity exchange activity (trade and transport) is not a passive «carrier of progress», not an auxiliary sphere, secondary to production, but an equally significant factor of economic development, stimulating an increase in production volume and efficiency. Therefore, economics should not be built «around production» either «around exchange», but proceed from the understanding of the interaction of production and exchange, from the active role of both of these spheres in the process of economic growth, and develop relevant recommendations in the field of economic policy.

REFERENCES

1. Smith, A. An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations [In Russian. Russian title: *Issledovanie o prirode i printsipakh bogatstva narodov*]. Moscow, Eksmo publ., 2009, 960 p.
2. Mokyr, J. The Lever of Riches. Technological Creativity and Economic Progress. N.Y., Oxford University Press, 1990, 368 p.
3. Menger, C. Foundations of political economy [In Russian. Russian title: *Osnovaniya politicheskoi ekonomii*]. In the book: Menger, C. Selected works. Trans. from German. Moscow, Territoriya buduschego publishing house, 2005, pp. 57–286.
4. Hayek, F. A. The Fatal Conceit. The Errors of Socialism. Chicago, The University of Chicago Press, 1988, 194 p.
5. Helpman, E. Understanding world trade [In Russian. Russian title: *Ponimanie mirovoi torgovli*]. Trans. from English. Moscow, Publishing house of Gaidar Institute, 2017, 312 p.
6. Ricardo, D. On the Principles of Political Economy, and Taxation. Selected works [In Russian. Russian title: *Nachala politicheskoi ekonomii i nalogovogo oblozheniya. Izbrannoe*]. Trans. from English. Moscow, Eksmo publ., 2009, 960 p.
7. Heckscher, E. The Effect of Foreign Trade on the Distribution of Income. Readings in the Theory of International Trade. Philadelphia, Blakiston, 1949, pp. 272–300.
8. Ohlin, B. Interregional and International Trade. *The Economic Journal*, March 1934, Vol. 44, pp. 95–102.
9. Tinbergen, J. Shaping the World Economy. N.Y., Twentieth Century Fund, 1962, xviii + 330 p.
10. Zagorskiy, K. Ya. Transport Economics [*Ekonomika transporta*]. Moscow-Leningrad, Gosizdat publ., 1930, 368 p.
11. Cameron, R. A Concise Economic History of the World: From Paleolithic Times to the Present. N.Y., Oxford University Press, 1993, 496 p.
12. Allen, R. Global Economic History. A Very Short Introduction. Oxford, Oxford University Press, 2011, xvi + 170 p.
13. Rosenberg, N., Birdzell, L. E. How the West Grew Rich: The Economic Transformation Of The Industrial World [In Russian. Russian title: *Kak Zapad stal bogatym: ekonomicheskoe preobrazovanie industrialnogo mira*]. Trans. from English. Moscow, Socium publ.; Chelyabinsk, IRISEN publ., 2015, 448 p.
14. Macheret, D. A., Epishkin, I. A. Mutual influence of institutional and transport factors of economic development: a retrospective analysis [*Vzaimnoe vliyaniye institutsionalnykh i transportnykh faktorov ekonomicheskogo razvitiya: retrospektivnyy analiz*]. *Journal of Institutional Studies*, 2017, Vol. 9, Iss. 4, pp. 80–100. [Electronic resource]: http://ecsocman.hse.ru/data/2018/01/10/1251078411/JIS_9_4_6.pdf. Last accessed 24.01.2020.
15. Macheret, D. A. Transport factor in formation of the era of modern economic growth [*Transportnyy faktor formirovaniya epokhi sovremennogo ekonomicheskogo rosta*]. *Ekonomicheskaya politika*, 2019, Vol. 14, Iss. 1, pp. 154–179. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/transportnyy-faktor-formirovaniya-epokhi-sovremennogo-ekonomicheskogo-rosta/pdf>. Last accessed 24.01.2020.
16. Dupuit, J. De la Mesure de l'Utilité des Travaux Publics [On the Measurement of the Utility of Public Works]. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1844, Vol. 8, 2^{ème} série, pp. 332–375.
17. Macheret, D. A. Influence of transport on social and economic development [*Vliyaniye transporta na sotsialno-ekonomicheskoe razvitiye*]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2003, Iss. 10, pp. 16–29.
18. Helpman, E., Krugman, P. R. Market Structure and Foreign Trade. Cambridge, MA, MIT Press, 1985, 283 p.
19. Macheret, D. A. Transport, Economic Growth and Public Well-Being. *World of Transport and Transportation*, Vol. 15, 2017, Iss. 5, pp. 98–105. [Electronic resource]: <https://mirtel.pub.ru/jour/article/view/1307/1583>. Last accessed 24.01.2020.
20. Maddison, A. Contours of the World Economy 1–2030 AD: Essays in Macro-Economic History. Oxford, Oxford University Press, 2007, 427 p.
21. Macheret, D. A. Transport costs: a load on the economy or a growth stimulator? [*Transportnie zatraty: nagruzka na ekonomiku ili stimulyator rosta?*]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2013, Iss. 8, pp. 24–33.
22. Lapidus, B. M., Macheret, D. A. Model and methodology of macroeconomic assessment of the mass of goods in the process of transportation [*Model' i metodika makroekonomicheskoi otsenki tovarno massy, nakhodyashchiesya v protsesse perevozhki*]. *Vestnik VNIIZhT*, 2011, Iss. 2, pp. 3–7.
23. Macheret, D. A. The evidences of the centenary-long dynamics of indicators of the largest railway systems [*O chem svidetelstvuet stoletnyaya dinamika pokazatelei krupneishikh zheleznodorozhnykh sistem*]. *Ekonomicheskaya politika*, 2016, Vol. 11, Iss. 6, pp. 138–169. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-chem-svidetelstvuet-stoletnyaya-dinamika-pokazateley-krupneyshih-zheleznodorozhnykh-sistem/pdf>. Last accessed 24.01.2020.
24. McNeill, W. H. The Rise of the West: A History of the Human Community. Chicago, The University of Chicago Press, 1963, xviii + 829 p.

25. Rostovtsev, M. I. Society and economy of the Roman Empire. Vol. 1 [*Obshchestvo i khozyaistvo Rimskoi imperii. T. I*]. St. Petersburg, Nauka publ., 2000, 400 p.
26. Temin, P. The Roman Market Economy. N.Y., Princeton University Press, 2013, 320 p.
27. Findlay, R., O'Rourke, K. H. Power and Plenty: Trade, War and the World Economy in the Second Millennium. Princeton, Princeton University Press, 2007, 648 p.
28. Paine, L. The Sea and Civilization. A Maritime History of the World. N.Y., Vintage Books, 2015, 784 p.
29. Lopez, R. The Commercial Revolution of the Middle Ages. N.Y., Cambridge University Press, 1976, 180 p.
30. Spufford, P. Power and Profit. The Merchant in Medieval Europe. London, Thames & Hudson, 2002, 432 p.
31. March, P. The New Industrial Revolution. Consumers' Globalization and the End of Mass Production. New Haven and London, Yale University Press, 2012, 320 p.
32. Smekhova, N. G., Kozhevnikov, Yu. N., Macheret, D. A. [et al]. Costs and prime cost of railway transportation [*Izderzhki i sebestoimost' zheleznodorozhnykh perevozok*]. Ed. by N. G. Smekhova, Yu. N. Kozhevnikova. Moscow, TMC of railway transport, 2015, 472 p.
33. Valeev, N. A. Management of operating costs of railway companies [*Upravlenie ekspluatatsionnymi zatratami zheleznodorozhnykh kompanii*]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2017, Iss. 12, pp. 26–36.
34. Zakharov, S. M., Shenfeld, K. P. Development of heavy traffic in the world [*Razvitie tyazhelovesnogo dvizheniya v mire*]. *Vestnik VNIIZhT*, 2013, Iss. 4, pp. 9–18.
35. Lapidus, B. M., Misharin, A. S. Cargo-passenger high-speed TransEurasia railroad: a unique megaproject [*Gruzopassazhirskaia vysokoskorostnaya magistral «TransEvraziya»: unikalnyi megaproekt*]. *Ekonomika regiona*, 2018, Vol. 14, Iss. 2, pp. 339–352. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/gruzopassazhirskaia-vysokoskorostnaya-zheleznodorozhnaya-magistral-transevraziya-unikalnyy-megaproekt/pdf>. Last accessed 24.01.2020.
36. Oreshkin, M. S. Prospects for economic policy [*Perspektivy ekonomicheskoi politiki*]. *Ekonomicheskaya politika*, 2018, Vol. 13, Iss. 3, pp. 8–27. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-ekonomicheskoy-politiki/pdf>. Last accessed 24.01.2020.
37. Berezinskaya, O. B., Vedev, A. L. Investment process in the Russian economy: potential and directions of intensification [*Investitsionnyi protsess v rossiiskoi ekonomike: potentsial i napravleniya aktivizatsii*]. *Voprosy ekonomiki*, 2014, Iss. 4, pp. 4–16. DOI: <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2014-4-4-16>.
38. Idrisov, G. I., Sinelnikov-Murylev, S. G. Fiscal policy and economic growth [*Byudzhetnaya politika i ekonomicheskii rost*]. *Voprosy ekonomiki*, 2013, Iss. 8, pp. 35–59. DOI: <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2013-8-35-59>.
39. Idrisov, G. I., Sinelnikov-Murylev, S. G. Formation of preconditions for long-term growth: how to understand them? [*Formirovanie predposylok dolgosrochnogo rosta: kak ikh ponimat'?*]. *Voprosy ekonomiki*, 2014, Iss. 3, pp. 4–20. DOI: <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2014-3-4-20>.
40. Khusainov, F. I. Unregulated railway tariffs: the Russian experience of 1850–1880 [*Nereguliruemie zheleznodorozhnye tarify: rossiiskiy opyt 1850–1880-kh godov*]. *Bulletin transportnoy informatsii*, 2009, Iss. 8, pp. 15–22.
41. The Cambridge Economic History of Modern Europe. Vol. 1. 1700–1870. Cambridge, Cambridge University Press, 2010, 330 p.
42. Golubev, A. A. Concession flourishing of the Russian railway [*Kontsessionny rastsvet rossiiskoi chugunki*]. *Otechestvennye zapiski*, 2013, Iss. 3 (54), pp. 271–282. [Electronic resource]: <https://magazines.gorky.media/oz/2013/3/kontsessionnyj-rastsvet-rossijskoj-chugunki.html>. Last accessed 24.01.2020.
43. Ryshkov, A. V., Maksimushkin, V. A., Postnikov, S. B. Transport infrastructure – the basis for long-term socio-economic development [*Transportnaya infrastruktura – osnova dolgosrochnogo sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya*]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2016, Iss. 12, pp. 12–20.
44. Reshetova, E. M. Mechanisms for financing road infrastructure in Russia and in the world: history of development, current state, best world practices [*Mekhanizmy finansirovaniya dorozhnoi infrastruktury v Rossii i v mire: istoriya razvitiya, sovremennoe sostoyanie, luchshie mirovie praktiki*]. Moscow, Publishing house of HSE, 2015, 551 p.
45. Fuchs, R. Green revolution: economic growth without damage to the environment [In Russian. Russian title: *Zelenaya revolyutsiya: ekonomicheskii rost bez ushcherba dlya ekologii*; original title: Intelligent growth – the Green revolution]. Trans. from German. Moscow, Alpina Non-fiction, 2016, 330 p.
46. Khachaturov, T. S. Economics of transport [*Ekonomika transporta*]. Moscow, Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1959, 588 p.
47. Suntum, U. van. Die Unsichtbare Hand. Ökonomisches Denken Gestern und Heute. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2013, 330 p.
48. Mau, V. A. Between modernization and stagnation: economic policy in 2012 [*Mezhdru modernizatsiei i zastoem: ekonomicheskaya politika 2012 goda*]. *Voprosy ekonomiki*, 2013, Iss. 2, pp. 4–23. DOI: <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2013-2-4-23>.
49. Lapidus, B. M., Macheret, D. A. Methodology for assessing and ensuring effectiveness of innovative transport systems [*Metodologiya otsenki i obespecheniya effektivnosti innovatsionnykh transportnykh sistem*]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2016, Iss. 7, pp. 16–25.
50. Kapelyushnikov, R. I. How much is human capital in Russia? Part I [*Skolko stoit cheleveschskiy kapital v Rossii? Chast' I*]. *Voprosy ekonomiki*, 2013, Iss. 1, pp. 27–47. DOI: <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2013-1-27-47>.
51. Izmaikova, A. V. Classification of innovations in railway transport and the investment factor of their implementation [*Klassifikatsiya innovatsii na zheleznodorozhnom transporte i investitsionnyi faktor ikh realizatsii*]. *Vestnik VNIIZhT*, 2015, Iss. 3, pp. 35–41. [Electronic resource]: <https://www.journal-vniizht.ru/jour/article/download/35/36>. Last accessed 24.01.2020.
52. Reinert, E. How Rich Countries Got Rich... and Why Poor Countries Stay Poor [*Kak bogatye strany stali bogatymi, i pochemu bednye strany ostayutsya bednymi*]. Trans. from English. Moscow, Publishing house Higher School of Economics, 2014, 384 p.
53. Khusainov, F. I. Soviet railways: the myth of the «golden age» [*Sovetskie zheleznie dorogi: mif o «zolotom veke»*]. *Ekonomicheskaya politika*, 2013, Iss. 5, pp. 39–61. [Electronic resource]: <https://publications.hse.ru/mirror/pubs/share/direct/248142309.pdf>. Last accessed 24.01.2020.
54. Chuprov, A. I. Railway facilities. Its economic characteristics and its relationship to the interests of the country [*Zheleznodorozhnoe khozyaistvo. Ego ekonomicheskie osobennosti i ego otnosheniya k interesam strany*]. Moscow, Printing House of A.I. Mamontov and Co., 1875, 362 p.



Методологические аспекты классификации и управления транспортными системами



Фрейдман Оксана Анатольевна — Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Россия.*

Оксана ФРЕЙДМАН

Развитие сектора транспортных услуг в глобальной экономике определяет эффективность хозяйственных связей как на международном уровне, так и на уровне организации процессов обмена внутри каждой страны. В этой связи тема повышения качества организации перевозочного процесса, а также вопросы организации эффективного транспортно-логистического сервиса в рамках транспортных систем остаются актуальными в России и за рубежом.

Современное состояние транспортной отрасли в России характеризуется такими значимыми факторами формирования рыночной среды, как цифровизация процессов управления и развитие политики клиентоориентирования, что отражено в различных программных документах в сфере развития транспорта. Конкуренция на транспортном рынке России особенно усиливается в сфере оказания услуг грузовой перевозки на средние расстояния. В настоящее время в ряде регионов России наблюдается преобладание услуг автомобильного транспорта над железнодорожным, что негативно сказывается как на показателях сохранности грузов, так и на стоимости самой транспортной услуги. Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры

Российской Федерации до 2024 года предполагает создание таких систем управления транспортом, которые бы не только обеспечивали эффективность поставки в экономическом аспекте, но также повышали их комплексность и надёжность. Предлагается рассмотреть смешанные транспортные системы как одну из форм организации транспортных систем.

При этом особую актуальность вопросы методологии классификации и управления транспортным процессом в смешанных системах приобретают с точки зрения выбора методов управления в зависимости от классификационного типа системы. Цель исследования заключается в конкретизации понятия «смешанная транспортная система» и разработке классификации смешанных транспортных систем в сфере организации грузовой перевозки.

Предлагается система классификации смешанных транспортных систем по четырём базовым признакам. В классификации использованы системный и процессный подходы, что связано со спецификой организации смешанной перевозки. Гипотеза исследования заключается в дальнейшей разработке методологии «управления по результатам» для транспортных систем смешанного типа.

Ключевые слова: транспортная система, смешанная перевозка, смешанная транспортная система, клиентоориентированное управление.

*Информация об авторе:

Фрейдман Оксана Анатольевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры менеджмента Иркутского государственного университета путей сообщения (ИрГУПС), Иркутск, Россия, oksana-frey@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 16.02.2020, принята к публикации 02.05.2020.

For the English text of the article please see p. 44.

АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ КЛАССИФИКАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ И МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ

Вопросы развития транспортных систем, равно как и вопросы методологии управления транспортными процессами в рамках этих систем, продолжают интересовать научное сообщество. В качестве аргумента, подтверждающего наличие этого интереса, можно привести исследования и труды учёных и практических исследователей [1–5]. При этом необходимо отметить, что исследования могут различаться по методам решения поставленной задачи, но совпадать по целевой установке — повышению качества оказания транспортно-логистических услуг путём эффективной организации транспортных систем. Например, авторы [2] рассматривают вопросы эффективной организации цепей поставок на транспорте в динамических системах и предлагают технологические методы управления рисками. Д. Антонуччи рассматривает методы оценки информационных рисков, что весьма актуально в условиях цифрового управления транспортным процессом [3]. Р. Хилл рассматривает вопросы повышения безопасности в сфере информационного управления при организации процессов международного обмена, в том числе транспортных [4]. Авторы [5] рассматривают вопросы управления смешанной транспортировкой грузов в условиях стыковки трёх видов транспорта.

При этом базовой идеей развития транспортных систем является поиск путей управления через создание SMART-систем, позволяющих осуществлять мониторинг проблемных зон при организации транспортных и логистических услуг. Поэтому интерес российских учёных к вопросам организации и управления транспортными системами смешанного типа вполне обоснован и совпадает с интересом мирового научного сообщества.

Современное развитие экономики России характеризуется разнообразием экономических связей между субъектами рынка, разветвлённостью материальных потоков, дифференциацией потребностей клиентов на рынке транспортных услуг и многоуровневой организацией самого рынка.

Инновационная политика развития Российской Федерации требует совершен-

ствования методов управления транспортными системами (с точки зрения роста интеграции различных видов транспорта) в процессе грузовой и пассажирской перевозки, а также в процессе взаимодействия отраслевых видов транспорта на уровне территориальных систем. Учитывая, что высокий уровень развития транспорта и транспортных услуг обеспечивает высокую скорость перевозки и эффективность обменных процессов в экономике, то вопросы организации и управления транспортными системами остаются актуальными. Теоретические и методологические аспекты и терминологический аппарат в сфере классификации и управления транспортными и транспортно-логистическими системами представили в своих трудах российские учёные Н. А. Адамов [6; 10], А. Н. Горяинов [7], О. Н. Ларин [8], Л. Б. Миротин [9], Т. А. Прокофьева [10], С. М. Резер и А. С. Резер [11].

Вместе с тем, с учётом изменения условий развития транспортного рынка указанные аспекты нуждаются в дополнении и развитии. Возникает необходимость в развитии классификации транспортных систем как отправной точки для выбора методов управления в процессе интеграции различных видов транспорта.

Кроме прочего, актуальность вопросов управления транспортными системами связана с проектами по созданию цифровой платформы единой транспортной системы [12], реализуемыми в соответствии с программой цифровой трансформации российской экономики.

Терминологический аспект понятия «транспортная система» неоднократно рассматривался как в учебной, так и в научной литературе. Особое внимание анализу подходов к понятию «транспортная система» было уделено в статье А. Н. Горяинова [7, с. 5–6], где учёный отмечает недостаточность объектного подхода в определении данной системы и путём применения диагностического подхода выделяет технологические характеристики систем. Достаточно полный обзор понятия «транспортная система», смещение авторского акцента на технологическое понятие «система транспорта» [7, с. 8] исключают необходимость поиска новых подходов к конкретизации содержания термина.



Однако классификация транспортных систем на основе обзора научных трудов его предшественников позволяет сделать вывод о необходимости развития терминологического аппарата в условиях интеграции отраслевых систем транспорта на территориальном уровне.

К понятию и классификации транспортных систем также обращаются в своих работах Д. А. Митченко [12] и В. М. Курганов [13]. В частности, в статье Д. А. Митченко, транспортная система рассматривается как совокупность связанных понятий: транспортный узел, объекты транспортной инфраструктуры и транспортный коридор [12, с. 1]. Основное внимание в вопросе классификации транспортных систем Д. А. Митченко уделяет городским системам пассажирского транспорта и, что связано с *целью* исследования, — поиску механизмов информационного управления взаимодействием различных видов транспорта [12, с. 2]. Взяв за основу классификации городских транспортных систем такой критерий классификации транспортных коридоров, как местоположение, Д. А. Митченко предлагает метод диагностики транспортной системы пассажирского транспорта с точки зрения критериев нечётких множеств. Необходимо отметить, что в основу исследования систем и дальнейшего управления ими положен тот же технологический принцип организации перевозки, что и в работах А. Н. Горяинова [7], только уже со смещённым к взаимодействию различных видов транспорта центром притяжения.

Обзор научных трудов российских специалистов в сфере управления транспортными системами позволяет выявить тенденцию к развитию классификации транспортных систем с акцентом на технологию и организацию транспортного процесса. Сложность научного поиска заключается в многоуровневой организации управления транспортной системой в условиях взаимодействия нескольких видов транспорта, то есть при организации смешанной перевозки как технологической основы существования смешанной транспортной системы.

Таким образом, *целью* исследования является конкретизация понятия смешанной транспортной системы, а также развитие теории управления транспортными

системами на *основе* существующих научных подходов к классификации транспортных систем.

СПЕЦИФИКА ОРГАНИЗАЦИИ СМЕШАННЫХ ПЕРЕВОЗОК КАК ОСНОВА ФОРМИРОВАНИЯ СМЕШАННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Уточним, что перевозка груза двумя и более контрагентами по одному транспортному документу называется смешанной перевозкой. Необходимость организации смешанных перевозок в процессе осуществления транспортной услуги приобретает особую значимость, что аргументировано ниже.

Во-первых, положительным фактором организации смешанной перевозки, с точки зрения исполнителя транспортной услуги, является специализация транспортно-логистических компаний, позволяющая обеспечить рост качества услуг. Повышение качества транспортно-логистической услуги в современных условиях связано с информатизацией транспортного процесса, что обеспечивает сокращение времени поставки и высвобождение ресурсов компании для участия в новых контрактах.

Во-вторых, организация перевозки смешанного типа позволяет клиентам транспортного рынка по одному документу получить весь комплекс транспортно-логистических услуг в сфере грузовой перевозки. При этом круг ответственности замыкается на организации-исполнителе услуги.

В-третьих, специализация транспортных компаний на отдельных видах транспортно-логистических операций и сокращение времени на совершение сделки способствуют ускорению процессов, что в целом приводит к росту интенсивности процессов обмена как на региональном, так и на международном уровне.

Вместе с тем существует ряд проблем, связанных с управлением перевозками смешанного типа и их развитием на региональном и международном уровне. Основываясь на опубликованных в научной литературе результатах исследований международных перевозок, можно утверждать, что 80 % грузов в мире осуществляется

в смешанном сообщении. Учитывая степень развития транспортной инфраструктуры России, и тот факт, что только 30 % затрат торгово-промышленного комплекса России направлено на поддержание инфраструктурного комплекса смешанных транспортных услуг, развитие услуг смешанной транспортировки отчасти затруднено [14, с. 162–163]. Представленные условия тормозят развитие политики клиентоориентированности при организации транспортного процесса с участием нескольких видов транспорта, что вызывает потребность в формировании систем управления транспортной услугой, ориентированных на клиента. Ещё одним фактором развития смешанных перевозок является функциональная дифференциация видов транспорта. Многообразие видов транспорта, отраслевая структура и специфика организации грузовых и пассажирских перевозок обуславливают актуальность исследования транспортных систем как в территориальном, так и в отраслевом аспекте.

Учитывая, что каждый вид транспорта имеет свои технологические характеристики эффективности, а также конкретизированные характеристики управления, то при управлении смешанными системами возникает вопрос о выборе критериев управления, их иерархии в условиях взаимодействия различных видов транспорта.

Гипотеза о потребности в новом подходе к управлению смешанной перевозкой в рамках территориальных систем подтверждается исследованиями региональных рынков транспортно-логистических компаний, проведёнными в период 2015–2018 годов [15]. Информационной базой исследования являются данные официальных сайтов транспортно-логистических компаний, которые позволили сделать вывод о наличии и структуре смешанных перевозок грузов в составе их услуг. В соответствии с результатами исследования преобладают смешанные перевозки, осуществляемые двумя видами транспорта, которыми занимаются 27 % компаний. Смешанными перевозками, осуществляемыми тремя видами транспорта, занимаются около 24 % компаний, четыре вида транспорта используют в процессе смешанной перевозки только 9 % компаний.

При этом свыше 40 % транспортно-логистических компаний используют в процессе перевозок только один вид транспорта, преимущественно автомобильный. Преобладание в структуре грузовых перевозок автомобильного транспорта объясняется ещё и тем, что свыше 60 % грузовых перевозок осуществляется в пределах агломераций крупных региональных центров, свыше 30 % грузовых перевозок – в пределах региона и более 70 % перевозок – в пределах российской территории [15]. Доля международных перевозок грузов в общей их структуре обусловлена спецификой исторического развития экономики и географическим положением регионов.

Следует резюмировать, что специфика организации грузовых перевозок смешанного типа связана с особенностями и принципами развития транспортных систем как на территориальном, так и на отраслевом уровне.

Первоначально необходимо уточнить само понятие «транспортной системы», а также определить место и роль смешанных транспортных систем.

С позиций системного подхода, выбранного в качестве основного для проведения исследования, термин «транспортная система» рассматривается как совокупность взаимосвязанных элементов (людей, объектов транспортно-логистической инфраструктуры, технических средств), функционирующая в целях обеспечения процесса перевозки грузов и/или пассажиров. Системный подход позволяет непосредственно перейти к классификации смешанных транспортных систем путём их поэтапной декомпозиции и к дальнейшему синтезу транспортных систем смешанного типа.

Первым шагом к управлению системами как объектом является их классификация. Потребность в классификации транспортных систем объясняется необходимостью развития методов управления перевозками грузов и пассажиров в условиях совместного исполнения транспортной услуги в рамках отраслевого взаимодействия видов транспорта, включая вопросы управления инфраструктурой. Смысл теоретической разработки заключается в установлении зависимости между типом транспортной системы и выбором критериев управления смешанной перевозкой.



В то же время цифровая трансформация экономики требует пересмотра существующих типов транспортных систем с уточнением признаков систем смешанного типа [7, с. 150–151].

Исследование классификационных характеристик систем и вопросов их пространственного развития отражено в научных работах В. Д. Герами [17], Н. А. Журавлёвой [16; 14], Е. И. Макарова [18]. Целый ряд содержащихся в них важных положений позволил сформулировать авторский взгляд на понятие смешанной транспортной системы.

Термин «смешанная транспортная система» в настоящее время не является устоявшимся и основан на определении «смешанная перевозка». Именно по этой причине транспортные системы смешанного типа представляются как системы управления перевозками грузов с использованием двух и более видов транспорта.

Авторское понимание смешанной транспортной системы заключается в акценте на интегративную роль системы как объединения компаний в процессе регионального и межотраслевого управления процессом перевозки. Межотраслевой характер управления при этом указывает на наличие двух и более видов транспорта в процессе грузоперевозки. В контексте территориального управления смешанные транспортные системы (далее СТС) представляют собой многоуровневые организованные объединения компаний, где в качестве платформы взаимодействия выступает инфраструктурный комплекс территории, в том числе элементы транспортно-логистической инфраструктуры, находящиеся в региональном управлении.

Авторское мнение по вопросу условий и целей образования СТС, а также их роли и места в процессе экономической интеграции субъектов транспортного рынка, заключается в следующем.

1. Смешанная транспортная система в аспекте институциональной теории экономики является мезоэкономической системой, так как объединяет организации с различными отраслевыми или территориальными признаками. Функционально смешанная система обеспечивает эффективное управление транспортировкой грузов, за счёт чего достигается логистиче-

ский принцип её деятельности – поставка «точно в срок» и «от двери до двери».

2. В аспекте территориального управления смешанная транспортная система объединяет участников цепей поставок одной территориальной транспортной сети, имеющих различную отраслевую принадлежность. Целью функционирования СТС является оптимизация ресурсов компаний-партнёров и сокращение времени поставки.

3. Одним из вариантов представления СТС является её рассмотрение как подсистемы отраслевой транспортной корпорации, осуществляющей сетевое управление транспортными процессами. В этом конкретном случае целью управления СТС является обеспечение сетевой интеграции подразделений компании.

Таким образом можно заключить, что понятие «смешанной транспортной системы» трактуется в «узком» и «широком» смысле.

В узком смысле СТС представлена как совокупность транспортных компаний, объединившихся с целью осуществления услуги смешанной перевозки.

В широком смысле СТС – это территориальное объединение отраслевых транспортных компаний, осуществляющих свою деятельность с целью эффективной организации комплексной услуги перевозки грузов, на основе совместного использования собственной и территориальной транспортно-логистической инфраструктуры.

Определение СТС в широком смысле отличается многоуровневой характеристикой системы, сложностью и самоорганизацией. СТС является искусственной системой управления грузовыми и/или пассажирскими перевозками.

В качестве целевой функции СТС рассматривается организация транспортно-логистического процесса, в том числе и процесса смешанной перевозки грузов различными видами транспорта. Исследование роли и условий функционирования СТС является актуальным как с организационно-управленческой точки зрения, так и с точки зрения эффективности внедрения новых технологий в процесс перевозки грузов. Предполагается, что в рамках СТС транспортные и нетранспортные организации осуществляют свою деятельность на

условиях партнёрства, что предполагает выбор организационной формы корпоративного или некорпоративного типа. В этом случае в состав критериев управления СТС вводятся показатели результатов деятельности СТС, характерные для коммерческих организаций, в частности, может быть внедрена система сбалансированных показателей.

Необходимо также обратить внимание, что термин «нетранспортная организация» был введён А. П. Абрамовым и В. П. Галабурдой для описания рынка транспортных услуг [20]. Под «нетранспортными организациями» указанные авторы подразумевают компании, участвующие в транспортном процессе, но не оказывающие транспортные услуги.

Платформой образования СТС, интеграции транспортных и транспортно-логистических компаний на уровне отдельной территории является региональная транспортно-логистическая система (далее РТЛС). Элементами РТЛС являются инфраструктурные объекты, к числу которых относятся территориальные транспортно-логистические центры и мультимодальные терминально-складские комплексы. Однако необходимо учитывать, что множество инфраструктурных объектов является собственностью отраслевых транспортных компаний, в том числе холдингов, филиалов транснациональных корпораций (далее ТНК), объединений групп компаний. Таким образом, недвижимые объекты транспортной или транспортно-логистической инфраструктуры могут иметь двойную подчинённость, что усложняет процесс управления.

Наличие межотраслевой интеграции, а также центров управления технологическими операциями (униmodalность), сочетание горизонтали и вертикали управления приводят к выводу, что системы отраслевых транспортных компаний, имеющих сетевую функциональную организацию, формируются как смешанные, т.к. обладают одновременно признаками территориального и отраслевого управления.

В качестве примера можно привести холдинг «Российские железные дороги», имеющий разветвлённую структуру транспортных путей, филиальную сеть в регионах и осуществляющий сетевое управление смешанными перевозками посредством

взаимодействия с дочерними компаниями (АО «Трансконтейнер», АО «РЖД-логистика» и др.). Учитывая, что в состав ОАО «РЖД» включены компании, обладающие парком других видов транспорта, то налицо возможность осуществления смешанной перевозки.

Микроэкономические системы представляют собой экономические системы отдельных субъектов рынка — предприятий и организаций. При анализе микроэкономических систем особое значение приобретает функциональный анализ, раскрывающий особенности их деятельности. К микроэкономическим системам транспортного рынка следует отнести любые транспортные организации несетевого типа, преимущественно имеющие линейно-функциональную организационную структуру, которые в настоящий момент наиболее распространены на рынке.

ПРИНЦИПЫ КЛАССИФИКАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ СМЕШАННЫМИ ТРАНСПОРТНЫМИ СИСТЕМАМИ

Процессы сетевой интеграции национальной и мировой экономики, развитие системы транснациональных коридоров и глобализация цепей поставок, компьютеризация логистических и транспортных процессов оказали существенное влияние на появление новой группы транспортных систем, а именно смешанных транспортных систем, для которых также могут быть определены классификационные признаки. На основании анализа существующих подходов к классификации систем, предлагается систематизировать знания о смешанной транспортной системе.

Базовым принципом классификации СТС является деление по типу перевозки на грузовые и пассажирские. Примерами смешанных транспортных систем на пассажирском транспорте могут послужить городские пассажирские транспортные системы, где присутствуют узловые остановки, предназначенные для пересадки пассажиров с одного транспорта на другой, аэропорты, со встроенной инфраструктурой скоростного железнодорожного транспорта и автомобильных дорог и т.д.

Примером смешанных транспортных систем для перевозки грузов служат транспортно-распределительные и транспортно-логистические центры, грузовые аэропорты





Рис. 1. Классификация смешанных транспортных систем (авторская схема).

со встроенной системой доставки и переработки почтовых и иных грузов и др.

Поскольку внимание исследования сосредоточено на управлении грузовыми перевозками, предлагаемая классификация СТС не учитывает признаков, присущих перевозке пассажиров.

Предлагается классифицировать смешанные транспортные системы по следующим группам признаков: организационная форма; форма интеграции транспортных компаний в системе (масштаб и тип отраслевой интеграции); по виду (составу) услуг смешанной перевозки.

Далее смешанные транспортные системы рассматриваются только для условий перевозки грузов (см. рис. 1).

Предлагается классифицировать смешанные транспортные системы по следующим группам признаков: организационная форма; форма интеграции транспортных компаний в системе (масштаб и тип); по назначению перевозки; по виду (составу) услуг транспортировки.

Необходимо пояснить принципы и признаки классификации СТС, что представлено ниже.

Потребность в создании СТС обусловлена стремлением транспортных организаций получить синергический эффект, который выражен в его достижении в совокупности для каждой из них. Результатами интеграции компаний являются: совместное финансирование и внедрение инфор-

мационно-инновационных и информационно-технологических систем, оптимизация затрат на распределение, развитие и совместное использование транспортной, складской и информационной инфраструктуры.

Перспективное совершенствование комплексных транспортно-логистических услуг в сфере совместного пользования инфраструктурой компаний способно привести к образованию мезоэкономических систем как на территориальном, так и на отраслевом уровне. На основе определения общих целей компаний и их специфических функций в партнёрстве, в качестве возможных форм интеграции СТС рассматриваются: корпоративные объединения – холдинги, концерны, консорциумы, пулы, ТНК; некорпоративные объединения – кластеры и стратегические альянсы.

Данное обстоятельство также получило отражение в процессе определения классификационных признаков СТС. Таким образом, к числу возможных организационных форм СТС следует отнести:

- 1) холдинги как системы межотраслевой интеграции, действующие в сферах промышленности, транспорта и торговли;
- 2) транснациональные корпорации, включающие сетевые международные организации, влияющие на развитие национальных экономик;
- 3) консорциумы, как территориальные межотраслевые объединения;

4) стратегические альянсы (в классификации — альянсы) как международные и межотраслевые объединения транспортных и логистических компаний;

5) пулы как объединения транспортных организаций, деятельность которых направлена на формирование единого финансового фонда, а средства инвестируются в поддержание транспортной инфраструктуры взаимодействующих компаний;

6) кластеры, в том числе транспортно-логистические, как подсистемы более крупных территориальных кластеров.

Необходимо обратить внимание, что на мезоуровне могут возникать связи, объединяющие промышленные и транспортные региональные компании, а также связи между ними и более крупными системами (ФПГ или ТНК).

Следующим классификационным признаком СТС является признак масштаба, который включает две классификационные группы: территориальные СТС и отраслевые СТС. Группировка СТС по территориальному охвату характеризует максимальный радиус оказания транспортной услуги: локальная национальная и транснациональная.

Необходимо отметить, что межрегиональный уровень формирования СТС приравнен по смыслу к национальному уровню. Транзитные транспортные коридоры, объединяющие несколько регионов России, решают задачи национальной транспортной системы. Группировка по отраслевой интеграции указывает на отраслевую направленность СТС, а именно на принадлежность грузоотправителей или грузополучателей к какой-либо отрасли хозяйствования: промышленность, наукоёмкие технологии — транспортно-технологические; организации системы товародвижения (в том числе торговые) — транспортно-логистические; в случае участия нескольких отраслей — межотраслевые СТС.

Отраслевой признак в контексте исследования рассматривается с точки зрения организации процесса смешанной перевозки, а не только с позиций отраслевых характеристик транспорта. Таким образом, управление СТС транспортно-технологического типа направлено на эффективность технологий организации транспортного процесса между совмещаемыми видами транспорта. Управление СТС транспортно-логистического типа предполагает ориентацию на комплексность

исполнения не только услуг транспортировки, но и других логистических услуг. Управление СТС межотраслевого типа предполагает установление критериев управления транспортным процессом взаимодействующих транспортных и нетранспортных компаний.

В качестве необходимого классификационного признака рассматриваются виды грузовых перевозок, которые обеспечиваются функционированием СТС. Учитывая, что интермодальная, мультимодальная и комбинированная перевозки являются частными случаями смешанной перевозки, то СТС следует классифицировать по возможностям осуществлять все типы перевозок: международные, интермодальные, мультимодальные, комбинированные и универсальные.

Международные смешанные перевозки предполагают организацию доставки грузов путём перегрузки с одного вида транспорта на другой в международном сообщении. В этом случае создание СТС повлечёт за собой ответственность за оформление не только перевозочных, но и таможенных документов. Создание СТС с перевозками комбинированного типа предполагает, что в состав услуг включена услуга по перемещению груза с одного транспорта на другой и этот вид работ осуществляется за счёт ресурсов СТС. СТС с услугами интермодальной перевозки организуют транспортный процесс по единому документу, где оператор-перевозчик несёт ответственность за весь перевозочный процесс, в том числе за договорённость со сторонними организациями. СТС с услугами мультимодальной перевозки предполагает организацию транспортной услуги по единому документу, не прибегая к помощи сторонних организаций. Создание СТС с услугами универсальной перевозки грузов подразумевает организацию перевозочного процесса по любому типу перевозки из ранее перечисленных и с возможностью подключения сторонних организаций к перевозочному процессу.

Необходимо отметить, что идея представленной классификации заключается в акцентуации внимания на транспортных системах смешанного типа. Выбор классификационных признаков обусловлен возможностью внедрения цифровых методов управления СТС в части алгоритмизации процесса перевозки. Например, по признаку масштаба — на территориальном или отраслевом уровне, по



признаку вида смешанной перевозки — мульти- или интермодальной и т.д.

В качестве базового принципа эффективного управления СТС, направленного на достижение её устойчивости, рассматривается гомеостатический подход, позволяющий достигать внутрисистемного равновесия за счёт управления конфликтными зонами при транспортировке грузов. Рассмотрение метода гомеостатического подхода и его отличий, например, от метода гомекинетического плато, не является предметом данной публикации. По этой причине, ниже представлены только общие пояснения о принципах использования метода в условиях управления смешанными транспортными системами.

Достижение состояния динамического равновесия достигается за счёт внедрения цифровых методов управления перевозочным процессом, что возможно в условиях применения информационных систем слежения за транспортировкой грузов и систем обратной связи с клиентом.

Предполагается разработка и внедрение цифровых клиентоориентированных систем, направленных на управление по результатам. В систему результативных показателей включаются критерии управления транспортным процессом, что нашло отражение в разработке системы управления комплексной транспортно-логистической услугой грузовой перевозки. В рамках цифровой трансформации транспортных систем предлагается внедрение систем управления комплексными транспортно-логистическими услугами, которые представляются перспективными с точки зрения организации смешанной перевозки. Формирование единого клиентского поля, что предусмотрено в рамках данной информационно-аналитической системы [21], необходимо для сохранения коммерческого дохода транспортными и транспортно-логистическими компаниями. С точки зрения клиентоориентированного подхода к управлению смешанной транспортной системой внедрение цифровых систем управления смешанной перевозкой позволит сократить время отклика при формировании заявки, а также позволит осуществлять контроль за другими показателями транспортного процесса, в том числе и за уровнем риска в процессе перевозки.

В качестве обязательного принципа управления СТС также рассматривается принцип

интегративности, который также поддерживает взаимодействие компаний через развитие систем искусственного интеллекта и ведёт к формированию встроенных цифровых систем. Применение цифровых технологий в процессе формирования и развития СТС будет способствовать принятию рациональных управленческих решений, основанных на объединении информационных баз данных партнёров цепей поставок, что в перспективе позволит повысить качество бизнес-процессов в транспортной отрасли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Принятие решений в сфере формирования архитектуры информационно-аналитической системы управления основывается на целях функционирования транспортных систем. В России в рамках реализуемой программы «Цифровая экономика Российской Федерации», а также с учётом задач Комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года, развитие транспортных систем смешанного типа является весьма актуальным.

С позиций процессного подхода в качестве транспортной системы смешанного типа рассматривается совокупность транспортных компаний, объединившихся с целью осуществления услуги смешанной перевозки.

С точки зрения многоуровневости и сложности взаимодействия нескольких видов транспорта в пределах транспортной сети смешанная транспортная система рассматривается как территориальное объединение отраслевых транспортных компаний, осуществляющих свою деятельность с целью эффективной организации комплексной услуги перевозки грузов на основе совместного использования собственной и территориальной транспортно-логистической инфраструктуры.

Одним из подходов к эффективной разработке и внедрению цифровых и информационных технологий является разработка классификации транспортных систем смешанного типа в сфере грузовых перевозок.

Представленная классификация раскрывает характеристики систем особого типа — смешанных транспортных систем. Результатом выбора классификационной группы свойств смешанной транспортной системы является разработка цифровых методов

управления процессом перевозки грузов с учётом организационной формы объединений видов транспорта, территориальных особенностей организации систем, вида услуги смешанной перевозки и отраслевых особенностей организации технологического процесса.

Решение задач управления транспортным процессом в смешанной транспортной системе зависит не только от организационных характеристик и состава элементов системы, но и от конкретных условий внешней среды, формирующейся в территориальных экономических системах. По этой причине в качестве одной из задач управления смешанными транспортными системами видится развитие научных методов управления интеграцией транспортных компаний в составе территориальных и/или отраслевых транспортных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Schnellhammer, P. European Logistics Real Estate Market. Part 1. Aquila Capital, 2020. [Электронный ресурс]: https://www.aquila-capital.de/fileadmin/user_upload/PDF_Files_Whitepaper-Insights/2020-02-21_White-Paper_Logistics_Part1_EN_V02_003_.pdf. Доступ 04.05.2020.
2. Gan Weihua Liu Bo Wang Ruhong. Virus Marketing – Case of Nanchang Railway Freight Transportation. // The Third International Symposium on Innovation and Sustainability of Modern Railway, 2016, 834 p., pp. 601–608. [Электронный ресурс]: <https://www.purpleculture.net/innovation-and-sustainability-of-modern-railway-p-25647/>. Доступ 04.05.2020.
3. Antonucci, D. The Cyber Risk Handbook: Creating and Measuring Effective Cybersecurity Capabilities. 1st ed. Wiley Finance, 2017, 448 p.
4. Hill, R. Dealing with Cyber Security Threats: International Cooperation, ITU, and WCIT. 7th International Conference on Cyber Conflict – Architectures in Cyberspace (CyCon), Tallinn, Estonia, 26–29 May 2015, pp. 119–133. DOI: 10.1109/CYCON.2015.7158473.
5. Huang Yong, Xu Jing-hao. Research on efficiency evaluation of Chinese port-industry listed companies. [Электронный ресурс]: https://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotat-SYGC201005028.htm. Доступ 04.05.2020.
6. Адамов Н. А., Элларян А. С. Концептуальные аспекты развития национальной транспортно-логистической системы // РИСК: Ресурсы, информация, снабжение, конкуренция. – 2013. – № 3. – С. 40–41.
7. Горяинов А. Н. Классификация систем транспорта с учётом диагностического подхода // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – Харьков: Технологический центр. – 2011. – Вып. 1/3 (49). – С. 4–10. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/profile/Oleksiy_Goryainov/publication/333603119_Klassifikacia_sistem_transporta_s_ucetom_diagnosticeskogo_podhoda/links/5cf63e8292851c4dd02727c1/Klassifikacia-sistem-transporta-s-ucetom-diagnosticeskogo-podhoda.pdf. Доступ 04.05.2020.
8. Ларин О. Н. Методология организации и функционирования транспортных систем регионов: Монография / Под ред. Л. Б. Миротина. – Челябинск, Изд-во ЮурГЭУ, 2007. – 205 с.
9. Миротин Л. Б., Лебедев Е. А., Грановский В. А., Голованов Б. В. Целеполагание в процессе реструктуризации транспортной системы // Интегрированная логистика. – 2011. – № 1. – С. 24–26.
10. Прокофьева Т. А., Адамов Н. А. Стратегия развития логистической инфраструктуры в транспортном комплексе России: Монография. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Институт исследования товародвижения и конъюнктуры оптового рынка, 2014. – 308 с.
11. Резер С. М., Шмудевич М. И., Резер А. В. Создание единой цифровой платформы для информационной транспортной системы // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сб. – 2019. – № 11. – С. 3–6.
12. Митченко Д. А. Заметки о классификации транспортных систем // Информационные технологии в системах автоматизации. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/zametka-o-klassifikatsii-transportnyh-sistem>. Доступ 04.05.2020.
13. Курганов В. М. Транспортные системы на этапах эволюции экономики // Архитектура. Строительство. Транспорт. Секция № 8 «Развитие теории и практики грузовых автомобильных перевозок, транспортной логистики». Материалы международной научно-практ. конференции, 2–3 декабря 2015 г. – Омск, СиАДИ, 2015. – С. 86–92.
14. Катаев А. Е. Проблемы правового регулирования международных смешанных перевозок. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-pravovogo-regulirovaniya-mezhdunarodnyh-smeshannyh-perevozok>. Доступ 04.05.2020.
15. Фрейдман О. А. Мониторинг инфраструктуры транспортно-логистических компаний // Мир транспорта. – 2018. – № 5 (78). – С. 130–143.
16. Журавлёва Н. А., Панычев А. Ю. Проблемы экономической оценки скорости в транспортно-логистических системах в новом технологическом укладе // Транспортные системы и технологии. – 2017. – Т. 3. – № 4. – С. 150–178. DOI: <https://doi.org/10.17816/transsyst201734150-178>.
17. Герами В. Д. О создании опорной сети логистических центров в России // Материалы международной науч.-практ. конф. «Логистические инновации и социально-экономические эффекты» / Под ред. Т. М. Степанян. – М.: Макс Пресс, 2013. – С. 16–22.
18. Макаров Е. И. Направления пространственного развития транспортно-логистической инфраструктуры Воронежской области / Сб. Общество и экономическая мысль в XXI в.: пути развития и инновации. Материалы VII Международной научно-практ. конференции. – 2019. – С. 582–586.
19. Журавлёва Н. А. Концептуальные основы оценки эффектов от развития проектов высокоскоростных транспортных систем на основе магнитной левитации // Транспортные системы и технологии. – 2019. – Т. 5. – № 1. – С. 89–102. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptualnye-osnovy-otsenki-effektov-ot-razvitiya-proektov-vysokoskorostnyh-transportnyh-sistem-na-osnove-magnitnoy-levitatsii/pdf>. Доступ 04.05.2020.
20. Абрамов А. П., Галабурда В. Г., Иванова Е. А. Маркетинг на транспорте: Учебник / Под общ. ред. В. Г. Галабурды. – М.: Желдориздат, 2001. – 329 с.
21. Фрейдман О. А. Система управления комплексными транспортно-логистическими услугами в сфере грузовых перевозок. Патент на изобретение RU2694643 C2, 16.07.2019. Заявка № 2017125218 от 13.07.2017. ●





Methodological Aspects of Transportation Systems Classification and Management



*Freidman, Oksana A., Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia *.*

Oksana A. FREIDMAN

ABSTRACT

The development of the transport services sector in the global economy determines the effectiveness of economic links, both at the international level and at the level of organizing exchange processes within each country. In this regard, the topic of improving quality of organization of the transportation process, as well as organization of effective transport and logistics services within the transportation systems, remain relevant in Russia and abroad.

The current state of the transport industry in Russia is characterized by such significant factors in formation of the market environment as digitalization of management processes and development of a customer-oriented policy, which is considered in various policy documents on development of transport. Competition in the Russian transport market is especially intensified for provision of cargo transportation services over medium distances. Currently, road transport services prevail over railway transportation in several regions of Russia, that negatively affects both goods safety rates and the cost of the transportation service itself. The comprehensive plan for modernization and enhancement of main

transport infrastructure of the Russian Federation until 2024 involves creation of such transportation management systems that would not only ensure efficiency of delivery in the economic aspect but would also increase the system approach and reliability. It is proposed to consider mixed transportation systems as a form of organization of transportation systems.

At the same time, the issues of methodology of classification and management of the transportation process in mixed systems acquire special relevance from the point of view of the choice of system management methods depending on the classification type of the system. The objective of the study is to develop the concept of «mixed transportation system» and a classification of mixed transportation systems in the field of cargo transportation.

A classification system for mixed transportation systems is suggested based on four basic criteria. The classification uses a systemic and process approach, which is associated with the features of organization of multimodal transportation. The hypothesis of the study is to further develop the methodology of «management by results» for mixed transportation systems.

Keywords: transport system, mixed transport system, mixed transportation, customer-focused management.

*Information about the author:

Freidman, Oksana A. – Ph.D. (Economics), Associate Professor at the Department of Management of Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia, oksana-frey@mail.ru.

Article received 16.02.2020, accepted 02.05.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 34.

Relevance of the study on classification of transport systems and management methods

The development of transportation systems, as well as the issues of methodology for managing transportation processes within these systems, continue to attract interest of the scientific community. To prove this interest many research and business publications can be quoted [1–5]. At the same time, it should be noted that the studies may not coincide in the methods of solving the problem, but could coincide in terms of the objective which is improving quality of provision of transport and logistics services through effective organization of transportation systems. For example, the authors [2] consider the issues of efficient organization of transportation supply chains in dynamic systems and propose techniques of risk management. D. Antonucci considers methods for assessing information risks, which are relevant in the context of digital control of the transportation process [3]. R. Hill examines the issues of improving security in the field of information management in organization of international exchange processes, including transportation processes [4]. The authors [5] examine management of mixed transportation of goods under conditions of docking of three modes of transport.

At the same time, the basic idea of development of transportation systems is to find ways of management through creation of SMART-systems that allow monitoring problem areas when organizing transportation and logistics services. Therefore, the interest of Russian researchers in organization and management of mixed transportation systems is fully justified and coincides with the interest of the world scientific community.

The modern development of the Russian economy is characterized by a variety of economic links between market entities, ramification of material flows, differentiation of customer needs in the transport services market and multilevel organization of the market itself.

The innovative development policy of the Russian Federation requires improving the methods of managing transportation systems (in terms of growth of integration of various modes of transport) in the process of cargo and passenger transportation, as well as in the process of interaction between sectoral modes of transport at the level of territorial systems. Given that the high level of development of transport system and transport services ensures high speed of

transportation and efficiency of exchange processes in the economy, the issues of organizing and managing transportation systems remain relevant. Theoretical and methodological aspects and terminological apparatus in the field of classification and management of transportation and transportation & logistics systems are studied in the works of Russian researchers: N. A. Adamov [6; 10], A. N. Goryainov [7], O. N. Larin [8], L. B. Mirotin [9], T. A. Prokofieva [10], S. M. Rezer and A. S. Rezer [11].

Nevertheless, considering changing conditions for development of the transportation market the studied aspects need to be supplemented and developed. There is an emerging need to develop classification of transportation systems as a starting point for choosing best management methods in the process of integrating various modes of transport.

Besides, relevance of transportation systems management issues is associated with projects to create a digital platform for a single transport system [12], implemented in compliance with the program for digital transformation of the Russian economy.

The terminological aspect of the concept of «transportation system» has been repeatedly considered both in the educational and scientific literature. Special attention was paid to the analysis of approaches to the concept of «transportation system» in the article by A. N. Goryainov [7, pp. 5–6], where the researcher notes insufficiency of the object approach in defining a given system and, by applying the diagnostic approach, highlights the technological characteristics of systems. A sufficiently complete overview of the concept of «transportation system», change of the author's emphasis on the technological concept of «transportation system» [7, p. 8], eliminates the need to search for new approaches to specifying the content of the term. However, classification of transport systems, based on a review of the research works of his predecessors, allows us to conclude that it is necessary to develop the terminological apparatus in the context of integration of sectoral transportation systems at the territorial level.

D. A. Mitchenko [12] and V. M. Kurganov [13] refer to the concept and classification of transportation systems in their works as well. The article by D. A. Mitchenko considers a transportation system as a set of related concepts: transport hub, transport infrastructure facilities and transport corridor [12, p. 1]. D. A. Mitchenko devotes the main attention within the study on the



issue of classification of transportation systems to urban passenger transport systems and that relates to objective of the study which is searching for mechanisms of information management of interaction of various modes of transport [12, p. 2]. Taking as a basis for classification of urban transport systems such a criterion for classification of transport corridors as the location, D. A. Mitchenko proposes a method for diagnosing the passenger transport system from the point of view of criteria of fuzzy sets. It should be noted that the study of systems and their further management is based on the same general technological principle of organizing transportation as in the works of A. N. Goryainov [7], while the centre of attraction is refocused on interaction of various modes of transport.

Thus, a review of Russian research in the field of transportation systems management reveals a trend towards development of classification of transportation systems with an emphasis on technology and organization of the transportation process. The complexity of scientific research is explained by multi-level organization of transportation systems management in the context of interaction of several modes of transport, that is, when organizing multimodal transportation as the technological basis for existence of a mixed transportation system.

Thus, the *objective* of the study is to develop the concept of a mixed transportation system, as well as the theory of transportation systems management based on existing scientific approaches to classification of transportation systems.

The features of organization of mixed transportation as the basis for formation of mixed transportation systems

Let us clarify that transportation of goods by two or more counterparties under one transportation document is called mixed transportation¹. The need to organize mixed transportation in the process of providing a transportation service is of particular importance, which is argued below.

¹ As the discussion on the terminology referred to the transportation of goods by different modes of transport is very nuanced and is far from being closed, the term is translated as «mixed transportation» that is as closer as possible to the original term used by the author here and further-on in the article. Nevertheless, there are different opinions on the sense and the use of that term. For more details, please see the review article by O. Larin inspired by the work of O. Platonov [Larin, O.N. Regulation of International Transportation: Modern Aspects. *World of Transport and Transportation*, 2019, Vol. 17, Iss. 2, pp. 296–305. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-2-296-305>]. – *Ed. note.*

Firstly, a positive factor in organization of mixed transportation, from the point of view of a transportation service provider, is specialization of transportation and logistics companies, which allows for the growth of quality of services. Improving the quality of transportation and logistics services, in modern conditions, is associated with digitalization of the transportation process, which ensures a reduction in delivery time and release of company resources for participation in new contracts.

Secondly, organization of mixed transportation allows the customers to receive on the transportation market a whole range of transportation and logistics services in the field of cargo transportation using a single document. In this case, a single service provider is bound by responsibility.

Thirdly, specialization of transport companies in certain types of transportation and logistics operations and a reduction in time to complete a transaction, contributes to acceleration of processes, which generally leads to an increase in exchange processes both at the regional and international levels.

However, there are several problems associated with management of mixed transportation and their development at the regional and international level. Based on the results of studies on international transportation published in the scientific literature, it can be argued that 80 % of the world's cargo is carried in mixed traffic. Considering the development rate of the transport infrastructure of Russia, and the fact that only 30 % of the costs of the commercial and industrial complex of Russia are invested in maintaining the infrastructure complex of mixed transportation services, development of mixed transportation services meets some difficulties [14, pp. 162–163]. The presented conditions hinder development of a customer-focused policy in organizing the transportation process with participation of several modes of transport, which causes the need for formation of customer-oriented transportation service management systems. Another factor in development of mixed transportation is linked to functional differentiation of modes of transport. The variety of modes of transport, its sectoral structure and specificity of cargo and passenger transportation, determine the relevance of the study of transportation systems both under the territorial and sectoral aspects.

Considering that each mode of transport has its own technological characteristics of efficiency, as well as detailed characteristics of management, then when managing mixed systems, the question

arises about the choice of management criteria, and their hierarchy in the context of interaction of various modes of transport.

The hypothesis of the need for a new approach to mixed transportation management within territorial systems is confirmed by studies of regional markets of transport and logistics companies conducted in 2015–2018 [15]. The information base of the study comprised data of official websites of transport and logistics companies, which made it possible to conclude about the presence and structure of mixed transportation of goods as part of their services. The results of the study led to the conclusion about prevalence of mixed transportation carried out with two modes of transport (27 % of companies). Mixed transportation with three modes of transport was provided by about 24 % of companies, while four modes of transport were used in the process of mixed transportation by only 9 % of companies.

At the same time, over 40 % of transport and logistics companies use only a single mode of transport in the process of transportation, mainly transportation by road. The predominance in the structure of cargo transportation of road transport is also explained by the fact that over 60 % of cargo transportation is carried out within the agglomerations of large regional centres, over 30 % of cargo transportation within the region and more than 70 % of transportation within the Russian territory [15]. The lower share of international cargo transportation in the overall structure of cargo transportation is due to the features of historical development of the economy and geographical location of the regions.

It should be summarized that the specifics of organization of mixed-type cargo transportation is associated with the characteristics and principles of development of transportation systems both at the territorial and sectoral levels.

Initially, it is necessary to clarify the very concept of «transportation system», as well as to determine the place and role of mixed transportation systems.

From the standpoint of the systemic approach, chosen as the main one for the study, the term «transportation system» is considered as a set of interrelated elements (people, objects of transport and logistics infrastructure, technical means, vehicles) operated to ensure the process of transportation of goods and/or passengers. The systemic approach allows us to go directly to classification of mixed transportation systems through their step-by-step decomposition and

further synthesis of mixed transportation systems.

The first step in managing systems as an object is to classify them. The need for classification of transportation systems is explained by the need to develop methods for managing transportation of goods and passengers in the context of joint provision of transport services within the framework of sectoral interaction of modes of transport, including infrastructure management issues. The meaning of theoretical development is to establish the relationship between the type of transportation system and the choice of mixed transportation management criteria.

At the same time, the digital transformation of the economy requires a revision of the existing types of transportation systems, specifying the characteristics of mixed-type systems [7, pp. 150–151].

The study of classification characteristics of systems and issues of their spatial development is reflected in the works of V. D. Gerami [17], N. A. Zhuravleva [16; 14], E. I. Makarov [18]. Some important statements stipulated by them allowed the author to formulate a view on the concept of a mixed transportation system.

The term «mixed transportation system» is currently not well-established and is based on the definition of «mixed transportation». It is for this reason that mixed transportation systems are presented as systems for managing transportation of goods using two or more modes of transport.

The author's understanding of the mixed transportation system is connected to the emphasis on the integrative role of the system as of a combination of companies in the process of regional and intersectoral management of the transportation process. At the same time, the inter-sectoral nature of management indicates the presence of two or more modes of transport in the process of cargo transportation. In the context of territorial administration, mixed transportation systems (hereinafter MTS) are multi-level organized associations of companies, where the infrastructure complex of the territory, including elements of the transport and logistics infrastructure that are under regional administration, acts as a platform for interaction.

The author's opinion on the conditions and goals of formation of MTS, as well as on their role and the position in the process of economic integration of transportation market entities, is as follows.

1. A mixed transportation system under the aspect of the institutional theory of economics is a



mesoeconomic system, since it unites organizations with various sectoral or territorial characteristics. The functionally mixed system ensures effective management of cargo transportation, due to which the logistics principle of its activity is achieved (delivery is provided «just in time» and «door to door»).

2. Under the aspect of territorial management, a mixed transportation system unites participants in supply chains of one and the same territorial transport network, which have different industry affiliations. The purpose of MTS is to optimize the resources of partner companies and reduce delivery time.

3. One of options for presenting MTS is its consideration as a subsystem of an industry transport corporation that carries out network management of transportation processes. In this particular case, the goal of MTS management is to ensure network integration of the company's divisions.

Thus, we can conclude that the concept of «mixed transportation system» is interpreted in a «narrow» and in a «wide» sense.

In a narrow sense, MTS is presented as a set of transport companies that have united to provide mixed transportation services.

In a broad sense, STS is a territorial association of sectoral transport companies that carry out their activities with the aim of efficiently organizing a comprehensive service for transportation of goods, based on the joint use of their own and territorial transport and logistics infrastructure.

The definition of MTS in a broad sense is distinguished by a multi-level characteristic of the system, complexity, and self-organization. MTS is an artificial system of control of cargo and/or passenger transportation.

The organization of the transport and logistics process, including the process of mixed transportation of goods by various modes of transport, is considered as the target function of MTS. The study of the role and conditions of functioning of MTS is relevant both from the organizational and management points of view, and from the point of view of effectiveness of introduction of new technologies into the process of transporting goods. It is assumed that within the framework of MTS, transport and non-transport organizations carry out their activities on a partnership basis, which implies the choice of an organizational form of a corporate or non-corporate type. In this case, indicators of the results of activity of MTS, characteristic of commercial

organizations, are introduced into MTS management criteria, in particular, a balanced scorecard system can be introduced.

It should also be noted that the term «non-transport organization» was introduced by A. P. Abramov and V. P. Galaburda to describe the market for transportation services [20]. By «non-transport organizations», these authors mean companies involved in the transportation process, but not providing transportation services.

The regional transport and logistics system (hereinafter RTLS) is the platform for development of MTS, integration of transport and transport and logistics companies at the level of a specific territory. The elements of RTLS comprise infrastructure facilities, which include territorial transport and logistics centres and multimodal terminal and warehouse complexes. However, it should be borne in mind that many infrastructure facilities are the property of industry transport companies, including holdings companies, branches of transnational corporations (hereinafter TNC), associations of groups of companies. Thus, immovables of transport or transport and logistics infrastructure can have dual subordination, which complicates the management process.

The presence of cross-sectoral integration, of control centres for technological operations (unimodality), of a combination of horizontal and vertical lines of control, leads to the conclusion that the systems of sectoral transport companies with a network functional organization are formed as mixed ones, since they show at the same time signs of territorial and sectoral management.

We can cite as a reference an example of JSC Russian Railways holding company, which has an extensive structure of transportation infrastructure facilities, a network of branches in the regions and carries out network management of mixed transportations via interaction with its subsidiaries (JSC TransContainer, JSC RZD-Logistics, etc.). Considering that JSC Russian Railways includes companies with a fleet of vehicles of other modes of transport, mixed transportation can evidently be provided.

Microeconomic systems are economic systems of individual market entities, of enterprises and organizations. Functional analysis is of particular importance for analysing microeconomic systems, revealing the features of their activities. The microeconomic systems of the transport market should include any non-network transport organizations, mainly with a linear-functional

organizational structure, which are currently most common in the market.

Principles of classification and management of mixed transportation systems

The processes of network integration of the national and world economies, development of the system of transnational corridors and globalization of supply chains, computerization of logistics and transportation processes have had a significant impact on emergence of a new group of transportation systems, namely mixed transportation systems, whose classification attributes can also be determined. Based on the analysis of existing approaches to classification of systems, it is proposed to systematize knowledge about the mixed transportation system.

The basic principle of MTS classification is division according to the type of transportation into cargo and passenger ones. Examples of mixed transportation systems in passenger transportation are urban passenger transport systems, where there are hub stops intended for passengers transferring from a mode of transport to another one, airports, with built-in infrastructure for high-speed railway transport and highways, etc.

An example of mixed transportation systems for transportation of goods are transport & distribution, transport & logistics centres, cargo airports with an integrated system for delivery and processing of postal and other goods, etc.

Since the study focuses on management of cargo transportation, the proposed MTS classification does not consider the features inherent in transportation of passengers.

It is proposed to classify mixed transport systems according to the following groups of characteristics: organizational form; form of integration of transport companies in the system (scale and type of industry (sectoral) integration); by type (composition) of mixed transportation services.

Further, mixed transportation systems are considered only referring to transportation of goods (see Pic. 1).

It is proposed to classify mixed transport systems according to the following groups of attributes: organizational form; form of integration of transport companies in the system (scale and type); by destination of transportation; by type (composition) of transportation services.

It is necessary to clarify the principles and features of MTS classification, which is presented below.

The need to create MTS is due to the desire of transport organizations to obtain a synergistic effect, which is expressed in achieving its aggregate for each of them. The results of integration of companies are joint financing and implementation of information & innovation and information technology systems, optimization of distribution costs, development and joint use of transport, warehouse, and information infrastructure.

Prospective improvement of integrated transport and logistics services in the field of joint use of infrastructure of companies can lead to formation of mesoeconomic systems both at the territorial and sectoral levels. Based on the definition of general goals of companies and their specific functions in partnership, the following possible forms of MTS integration are considered: corporate associations (holdings companies, concerns, consortia, pools, TNC; unincorporated associations (clusters and strategic alliances).

This circumstance was also reflected in the process of determining the classification attributes of MTS. Thus, the following forms are among the possible organizational forms of MTS:

1) Holding companies as systems of intersectoral integration operating in the spheres of industry, transport and trade.

2) Transnational corporations, including network international organizations, influencing development of national economies.

3) Consortia, as territorial intersectoral associations.

4) Strategic alliances (classified as alliances) as international and intersectoral associations of transport and logistics companies.

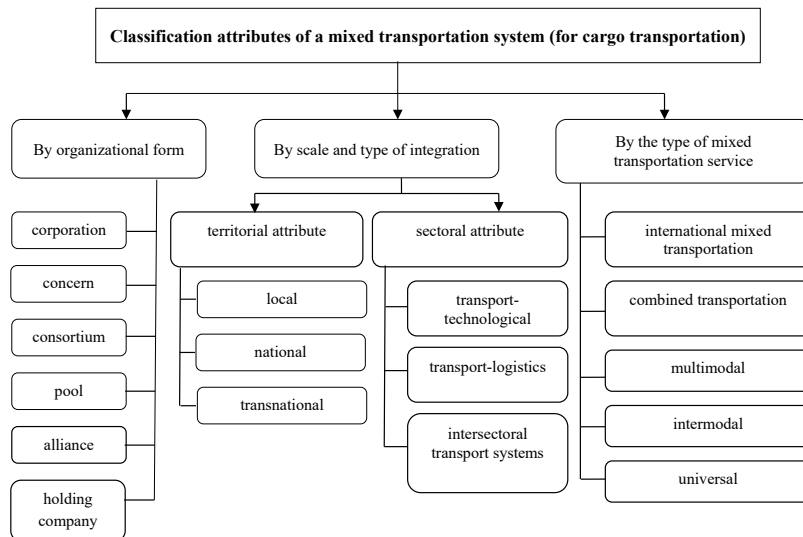
5) Pools, as associations of transport organizations, whose activities are aimed at forming a single financial fund, and resources there-of are invested in maintaining the transport infrastructure of interacting companies.

6) Clusters, including transport and logistics ones, as subsystems of larger territorial clusters.

It is necessary to pay attention to the fact that at the meso-level, there may be relationships that connect industrial and transport regional companies, as well as relationships between them and larger systems (Financial-Industrial Groups or TNC).

The next classification feature of MTS is the scale indicator, which includes two classification groups: territorial MTS and sectoral MTS. The grouping of MTS by territorial coverage characterizes the maximum radius of provision of





Pic. 1. Classification of mixed transportation systems (author's scheme).

transportation services (local, national, and transnational services).

It should be noted that the interregional level of MTS development is equated in meaning to the national level. Transit transport corridors uniting several regions of Russia solve the problems of the national transport system. The grouping by sectoral integration indicates the sectoral focus of MTS, namely, the belonging of shippers or consignees to any economic sector: if they belong to industry, science-intensive technology sector then they are transport and technological MTS; if they are engaged in organization of the distribution system, including trade, then they are transport and logistics MTS; if organizations of several industries participate in a MTS we have the case of an intersectoral MTS.

The sectoral attribute in the context of the study is considered from the point of view of organization of the mixed transportation process, and not only from the standpoint of sectoral characteristics of transport. Thus, the management of MTS of the transport and technological type had for objective growing efficiency of technologies for organizing the transportation process between the combined modes of transport. The management of a transport and logistics MTS implies an orientation towards comprehensive provision of not only transportation services, but also of other logistics services. Intersectoral MTS management involves establishment of criteria for managing the transportation process of interacting transport and non-transport companies.

The types of cargo transportation that are provided by MTS operations are considered as a

necessary classification criterion. Considering that intermodal, multimodal, and combined transportation are specific cases of mixed transportation, MTS should be classified according to the possibilities to carry out all types of transportation: international, intermodal, multimodal, combined, and universal ones.

International mixed transportation involves organization of cargo delivery through transshipment from a mode of transport to another one in international traffic. In this case, the creation of MTS will entail responsibility for issuing not only transportation documents, but also for preparing customs documents. The creation of MTS with combined transportation assumes that the services include a service for moving cargo from a mode of transport to another one, and this type of work is carried out at the expense of MTS resources. MTS offering intermodal transportation services organizes the transport process according to a single document, where a carrier-operator is responsible for the entire transportation process, including for agreements with third-party organizations. MTS offering multimodal transportation services bears responsibility for providing transport services under a single document, without resorting to the help of third-party organizations. The creation of a MTS with services of universal transportation of goods implies organization of the transportation process for any type of transportation from the previously listed ones and with the ability to involve third-party organizations in the transportation process.

It should be noted that the idea of the presented classification is to focus on mixed transportation systems. The choice of classi-

fication features is due to the possibility of introducing digital methods of MTS control in terms of algorithmizing the transportation process. For example, it could be based on scale (at the territorial or sectoral level), on the type of mixed transportation (multi- or intermodal transportation), etc.

The homeostatic approach is considered as the basic principle of effective management of MTS, aimed at achieving its stability, which makes it possible to achieve intra-system equilibrium by managing conflict zones during transportation of goods. The publication does not intend to study in details homeostatic approach, either its difference from, e.g., homeokinetic plateau. Only general explications on the principles of the use of that method for management of mixed transportation systems are suggested below.

The state of dynamic equilibrium is achieved through introduction of digital methods for managing the transportation process, which is possible in the context of the use of information systems for tracking transportation of goods and customer feedback systems.

It is planned to develop and implement digital customer-oriented systems aimed at introducing management by results. The system of effective indicators includes criteria for managing the transportation process, which is reflected in development of a management system for an integrated transport and logistics service for cargo transportation. As part of the digital transformation of transportation systems, it is proposed to introduce management systems for integrated transport and logistics services, which seems promising from the point of view of organizing mixed transportation. The formation of a single customer environment, which is provided for within the framework of this information and analytical system [21], is necessary to maintain commercial income by transport and transport and logistics companies. From the point of view of a customer-oriented approach to managing a mixed transportation system, introduction of digital mixed transportation management systems will reduce the response time during preparing of an application, and will also allow to monitor other indicators of the transportation process, including the risk rate during transportation.

The principle of integrability is also considered as a mandatory principle of MTS management, it also supports interaction of

companies through development of artificial intelligence systems and leads to formation of embedded digital systems. The use of digital technologies in the process of formation and development of MTS will contribute to making lean management decisions based on integration of information databases of supply chain partners, which in the future will improve quality of business processes in the transport industry.

Conclusions.

Decision-making in the field of development of the architecture of the information and analytical management system is based on the objectives of transportation systems operations. In Russian, within the framework of the implemented program on Digital Economy of the Russian Federation, as well as considering the tasks of the Comprehensive Plan for modernization and expansion of the main infrastructure for the period up to 2024, development of mixed transportation systems is highly relevant.

From the standpoint of the process approach, we understand under a mixed transportation system a set of transport companies that have united to provide mixed transportation service.

From the point of view of multilevel and complexity of interaction of several modes of transport within the transport network, a mixed transportation system is considered as a territorial association of sectoral transport companies operating with the aim of efficiently organizing an integrated service for transportation of goods, based on the joint use of their own and territorial transport and logistics infrastructure.

Approaches to effective development and implementation of digital and information technology include development of a classification of mixed transportation systems in the field of cargo transportation.

The presented classification reveals the characteristics of a special type of systems which are mixed transportation systems. The choice of a group of classifying attributes of a mixed transportation system results in development of digital methods for managing the process of transporting goods, considering the organizational form of associations of modes of transport, territorial features of organization of systems, the type of mixed transportation service, and industry-specific features of organization of the technological process.



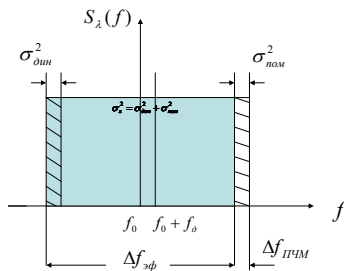
Solving the problems of managing the transportation process in a mixed transportation system depends not only on organizational characteristics and composition of elements of the system, but also on the specific conditions of the external environment that is formed within territorial economic systems. For this reason, development of scientific methods for managing integration of transport companies as part of territorial and/or sectoral transportation systems is deemed to be among the tasks of managing mixed transportation systems.

REFERENCES

1. Schnellhammer, P. European Logistics Real Estate Market. Part 1. Aquila Capital, 2020. [Electronic resource]: https://www.aquila-capital.de/fileadmin/user_upload/PDF_Files_Whitepaper-Insights/2020-02-21_White-Paper_Logistics_Part1_EN_V02_003_.pdf. Last accessed 04.05.2020.
2. Gan Weihua Liu Bo Wang Ruhong. Virus Marketing – Case of Nanchang Railway Freight Transportation. The Third International Symposium on Innovation and Sustainability of Modern Railway, 2016, 834 p., pp. 601–608. [Electronic resource]: <https://www.purpleculture.net/innovation-and-sustainability-of-modern-railway-p-25647/>. Last accessed 04.05.2020.
3. Antonucci, D. The Cyber Risk Handbook: Creating and Measuring Effective Cybersecurity Capabilities. 1st ed. Wiley Finance, 2017, 448 p.
4. Hill, R. Dealing with Cyber Security Threats: International Cooperation, ITU, and WCIT. 7th International Conference on Cyber Conflict – Architectures in Cyberspace (CyCon), Tallinn, Estonia, 26–29 May 2015, pp. 119–133. DOI: 10.1109/CYCON.2015.7158473.
5. Huang Yong, Xu Jing-hao. Research on efficiency evaluation of Chinese port-industry listed companies. [Electronic resource]: https://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotat-SYGC201005028.htm. Last accessed 04.05.2020.
6. Adamov, N. A., Ellaryan, A. S. Conceptual aspects of development of the national transport and logistics system [Konseptualnye aspekty razvitiya natsionalnoi transportno-logisticheskoi sistemy]. *RISK: Resources, information, supply, competition*, 2013, Iss. 3, pp. 40–41.
7. Goryainov, A. N. Classification of transport systems considering the diagnostic approach [Klassifikatsiya sistem transporta s uchetom diagnosticheskogo podkhoda]. *Eastern European journal of advanced technologies*, 2011, Iss. 1–3 (49), pp. 4–10. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/profile/Oleksiy_Goryayinov/publication/333603119_Klassifikatsiya_sistem_transporta_s_uchetom_diagnosticheskogo_podkhoda/links/5cfc3e8292851c4dd02727c1/Klassifikatsiya-sistem-transporta-s-uchetom-diagnosticheskogo-podkhoda.pdf. Last accessed 04.05.2020.
8. Larin, O. N. Methodology of organization and functioning of transport systems of regions: Monograph [Metodologiya organizatsii i funktsionirovaniya transportnykh sistem regionov: Monografiya]. Ed. by L. B. Mirodin. Chelyabinsk, Publishing house of YurGEU, 2007, 205 p.
9. Mirodin, L. B., Lebedev, E. A., Granovskiy, V. A., Golovanov, B. V. Goal-setting in the process of restructuring the transport system [Tsepolaganie v protsesse restrukturalizatsii transportnoi sistemy]. *Integrirovannaya logistika*, 2011, Iss. 1, pp. 24–26.
10. Prokofieva, T. A., Adamov, N. A. Strategy for development of logistics infrastructure within the transport complex of Russia: Monograph [Strategiya razvitiya logisticheskoi infrastruktury v transportnom komplekse Rossii: Monografiya]. 2nd ed., rev. and add. Moscow, Institute for Research on Goods Movement and Wholesale Market Conditions, 2014, 308 p.
11. Rezer, S. M., Shmulevich, M. I., Rezer, A. V. Creation of a unified digital platform for the information transport system [Sozdanie edinoi tsifrovoi platform dlya informatsionnoi transportnoi sistemy]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Scientific information collection*, 2019, Iss. 11, pp. 3–6.
12. Mitchenko, D. A. Notes on classification of transport systems [Zametki o klassifikatsii transportnykh sistem]. *Informatsionnye tekhnologii v sistemakh avtomatizatsii*. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/zametka-o-klassifikatsii-transportnykh-sistem>. Last accessed 04.05.2020.
13. Kurganov, V. M. Transport systems at the stages of evolution of the economy [Transportnye sistemy na etapakh evolyutsii ekonomiki]. Architecture. Building. Transport. Section No. 8 «Development of the theory and practice of road cargo transportation, transport logistics». Proceedings of international scientific and practical conference, December 2–3, 2015. Omsk, SiADI, 2015, pp. 86–92.
14. Kataev, A. E. Problems of legal regulation of international mixed transportation [Problemy pravovogo regulirovaniya mezhdunarodnykh smeshannykh perevozok]. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-pravovogo-regulirovaniya-mezhdunarodnykh-smeshannykh-perevozok>. Last accessed 04.05.2020.
15. Freidman, O. A. Monitoring of Infrastructure of Transport and Logistics Companies. *World of Transport and Transportation*, 2018, Vol. 16, Iss. 5 (78), pp. 130–143.
16. Zhuravleva, N. A., Panychev, A. Yu. Problems of economic assessment of speed in transport and logistics systems in a new technological order [Problemy ekonomicheskoi otsenki skorosti v transportno-logisticheskikh sistemakh v novom tekhnologicheskom uklade]. *Transportnye sistemy i tekhnologii*, 2017, Vol. 3, Iss. 4, pp. 150–178. DOI: <https://doi.org/10.17816/transsyst201734150-178>.
17. Gerami, V. D. On creation of a backbone network of logistics centres in Russia [O sozdanii opornoj seti logisticheskikh tsentrov v Rossii]. Proceedings of international scientific-practical conference «Logistic innovations and socio-economic effects». Ed. by T. M. Stepanyan. Moscow, Max Press publ., 2013, pp. 16–22.
18. Makarov, E. I. Directions of spatial development of transport and logistics infrastructure of Voronezh region [Napravleniya prostranstvennogo razvitiya transportno-logisticheskoi infrastruktury Voronezhskoi oblasti]. Collection of Society and economic thought in 21st century: ways of development and innovation. Proceedings of 7th International scientific-practical conference, 2019, pp. 582–586.
19. Zhuravleva, N. A. Conceptual framework for assessing the effects of development of projects of high-speed transport systems on magnetic levitation [Konseptualnye osnovy otsenki effektivnosti ot razvitiya proektov vysokoskorostnykh transportnykh sistem na osnove magnitnoi levitatsii]. *Transportnye sistemy i tekhnologii*, 2019, Vol. 5, Iss. 1, pp. 89–102. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptualnye-osnovy-otsenki-effektivnosti-ot-razvitiya-proektov-vysokoskorostnykh-transportnykh-sistem-na-osnove-magnitnoy-levitatsii/pdf>. Last accessed 04.05.2020.
20. Abramov, A. P., Galaburda, V. G., Ivanova, E. A. Marketing in transport: Textbook [Marketing na transporte: Uchebnik]. Ed. by V. G. Galaburda. Moscow, Zheldorizdat publ., 2001, 329 p.
21. Freidman, O. A. Management system for complex transport and logistics services in the field of cargo transportation. Patent for invention of the Russian Federation RU2694643 C2, 16.07.2019. Application No. 2017125218 dated July 13, 2017 [Sistema upravleniya kompleksnymi transportno-logisticheskimi uslugami v sfere gruzovykh perevozok. Patent na izobretenie RU2694643 C2, 16.07.2019. Zayavka No. 2017125218 ot 13.07.2017].

**ВСМ****54**

Радиосвязи все скорости покорны...

**ЭНЕРГО-
ЭФФЕКТИВНОСТЬ****72**

Результаты практического применения сглаживающих реакторов.

БЕСПИЛОТНИКИ**84**

БПЛА на объектах инфраструктуры и над ними. Можно ли летать, где разместить, как управлять.

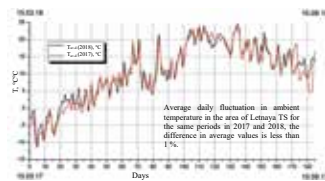
НАУКА И ТЕХНИКА • SCIENCE AND ENGINEERING

**HSR****63**

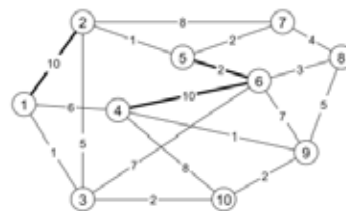
Radiocommunications are available at any speed.

**ENERGY
EFFICIENCY****78**

The results of operation of new smoothing reactors.

**UAV****91**

UAVs at and over transport infrastructure facilities. Is it possible to fly? Where to place and how to control them?





Оценка влияния эффекта Доплера на качество радиосвязи в условиях высокоскоростного движения



Любовь ЖУРАВЛЁВА



Михаил НИЛОВ



Владимир ЛОШКАРЕВ



Владислав ЛЕВШУНОВ

Журавлёва Любовь Михайловна – Российский университет транспорта, Москва, Россия.

Нилов Михаил Алексеевич – ПАО «Мегафон», Москва, Россия.

Лошкарёв Владимир Леонидович – ПАО «Мегафон», Москва, Россия.

Левшунов Владислав Витальевич – ПАО «MAXIM», Москва, Россия.*

В статье предложена методика оценки искажений радиосигнала от действия эффекта Доплера (ЭД) в условиях высокоскоростного движения поездов. Цель работы – разработка критериев оценки качества радиосвязи с подвижными объектами в условиях высокоскоростного движения поездов. Для этого предложена методика расчёта вероятности ошибки, возникающей в результате действия эффекта Доплера. Дано обоснование актуальности темы для железнодорожного транспорта, где посредством радиосвязи осуществляется управление движением поездов и обеспечение безопасности. Достижение требуемого качества радиосигналов является главной задачей. Особенно важна оценка качества при организации широкополосных каналов связи с машинистами подвижных составов с помощью сетей мобильной связи. Для решения этой задачи рассмотрена модель оценки качества радиосвязи в условиях действия ЭД. Искажения сигналов в радиоканале за счёт эффекта Доплера предложено оценивать с помощью приведён-

ной дисперсии суммарной погрешности, которая состоит из двух составляющих: динамической и помеховой. Представлены расчёты суммарной приведённой погрешности сигнала и вероятности ошибки для скоростей движения выше 100 км/ч. Кроме того, даны оценки влияния ЭД на когерентный приёмник, в котором могут возникать ошибки за счёт изменений длительности радиоимпульсов.

Приведён анализ эффективности системы автоматической подстройки частоты (АПЧ) приёмника как средства борьбы с ЭД. Для этого введено понятие мгновенного спектра паразитной частотной модуляции за счёт ЭД, и с помощью приведённой дисперсии суммарной погрешности рассчитано качество радиосвязи. Эффективность использования АПЧ доказана после сравнения оценок качества приёма с АПЧ и без него в виде отношения вероятностей ошибок. Сформулированы особенности использования мобильной связи на железнодорожном транспорте в условиях действия ЭД.

Ключевые слова: железная дорога, высокоскоростное движение, эффект Доплера, искажения, скорость движения поезда, автоматическая подстройка частоты, радиосигнал, качество радиосвязи.

*Информация об авторах:

Журавлёва Любовь Михайловна – доктор технических наук, профессор кафедры автоматики, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте Российского университета транспорта, Москва, Россия, zhlubov@mail.ru.

Нилов Михаил Алексеевич – инженер отдела развития пакетной сети ПАО «Мегафон», Москва, Россия, asp-nil@bk.ru.

Лошкарёв Владимир Леонидович – инженер отдела наложенных сетей ПАО «Мегафон», Москва, Россия, bartok890@mail.ru.

Левшунов Владислав Витальевич – инженер отдела внедрения ПАО «MAXIM», Москва, Россия, Levshunov1122@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 11.01.2020, принята к публикации 24.06.2020.

For the English text of the article please see p. 63.

1. АКТУАЛЬНОСТЬ

Управление движением поездов и обеспечение безопасности на железнодорожном транспорте возможно только с применением систем радиосвязи. От качества функционирования радиоканалов зависят показатели эффективности перевозочного процесса и безопасности движения поездов. Достижение требуемого качества радиосигналов является главной задачей при организации широкополосных каналов связи с машинистами. Решение этой задачи особенно актуально для передачи на подвижной состав тревожной информации. Такие сигналы формируются в системах видеонаблюдения при обнаружении опасных ситуаций на объектах железнодорожного транспорта (переездах, мостах, тоннелях) и передаются с помощью сети мобильной связи. Оценка качества радиосвязи должна учитывать не только воздействие внешних помех от контактной сети, работающих двигателей и других источников шума, но и интерференционные искажения, возникающие за счёт многолучевого характера распространения отражённых от препятствий сигналов, а также эффекта Доплера (ЭД). Эффект Доплера — это изменение несущей частоты, вызванное перемещением источника или приёмника сигнала [1, с. 139–142].

Цель работы заключается в оценке влияния эффекта Доплера на качество радиосвязи и способов борьбы с последствиями ЭД. В качестве критерия и оценки качества радиосвязи принята вероятность ошибки цифрового сигнала, возникающей за счёт доплеровского рассеяния несущей частоты. В основе методики расчёта вероятности ошибки лежит определение приведённой дисперсии погрешности полезного сигнала из-за действия паразитной частотной модуляции, вызванной ЭД.

Предложенный в статье способ расчёта приведённой дисперсии погрешности позволил оценить эффективность уменьшения искажений с помощью схемы автоматической подстройки частоты несущего сигнала. Такая задача приобретает особое значение в связи с внедрением высокоскоростного движения поездов и систем Wi-Fi для улучшения обслуживания пассажиров и повышения безопасности. Для реализации этой цели необходимы методики

оценки искажений от ЭД и анализ эффективности способов борьбы. Результаты аналогичных исследований влияния эффекта Доплера на качество радиосвязи в условиях высокоскоростного движения (ВСД) приведены в [1; 2]. В странах, имеющих развитую сеть ВСМ, например, в КНР, где скорости движения поездов могут превышать значение 400 км/ч, проблемы, связанные с эффектом Доплера, стоят особенно остро. Предложенные в [1; 2] два способа борьбы с искажениями от действия ЭД основаны на принципе автоподстройки несущей частоты (АПЧ), которая отслеживает изменения несущей частоты f_0 и производит её подстройку. В первом способе автоматическая подстройка частоты в приёмнике осуществляется с помощью прогнозирования смещения несущей Δf_0 во времени в зависимости от изменений скорости движения поезда. Для этого используется специальная программа, в основе которой лежит вычисление конечных разностей высокого порядка ($N \geq 2$), что характерно для немарковских случайных процессов. Полученное значение приращения ($\pm \Delta f_0$) подстраивает частоту гетеродина приёмника. Такой способ требует большого вычислительного ресурса и высокого быстродействия элементной базы. Реализация этого «алгоритма компенсации» ЭД на основе обработки большого объёма информации возможна с помощью электроники нового поколения. В простейшем варианте в схеме АПЧ вырабатывается управляющий сигнал, являющийся разностью текущего и предыдущего значений марковского ($N = 1$) случайного процесса (изменений частоты несущего сигнала), что соответствует конечной разности первого порядка. Использование предыстории процесса в случае представления колебаний несущей частоты в виде немарковского процесса позволяет более точно оценить величину $\pm \Delta f_0$ и подстроить сигнал гетеродина приёмника.

Второй способ — это регулирование частоты гетеродина приёмника с помощью пилот-сигналов, добавляемых в цифровые последовательности (кадры данных) на передающей стороне. Назначением пилот-сигнала является отслеживание условий распространения радиосигнала, в том числе сдвига несущей частоты за счёт ЭД.



После детектирования на приёмной стороне информация об изменениях несущей частоты используется для подстройки генератора. В отличие от первого способа, для использования пилот-сигналов не нужны вычислительные устройства, но требуются дополнительные каналные ресурсы, например, по полосе частот. В условиях высокоскоростного движения более эффективным способом борьбы с ЭД является метод прогнозирования изменений несущей Δf_0 , который позволяет более точно предугадать отклонение несущей от номинального значения.

Смещение несущих частот в результате действия ЭД влечёт за собой нарушение принципа ортогональности и межчастотную интерференцию.

В настоящее время большинство радиосистем (например, в мобильной связи) ориентировано на использование сигналов с ортогональным частотным уплотнением (OFDM) [3]. В основе принципа ортогональности лежит коэффициент функции корреляции, позволяющий выбрать систему ортогональных функций, обеспечивающих наилучшее качество передачи. При совпадении входного и опорного сигналов в канале приёмника коэффициент корреляции равен максимальному значению, в противном случае он равен нулю. Такой способ формирования группового сигнала позволяет повысить его спектральную плотность путём наложения спектров соседних поднесущих частот. При этом смежные поднесущие спектры не интерферируют. Нарушение условия ортогональности поднесущих частот приводит к межчастотной интерференции. Одной из причин нарушения принципа ортогональности является действие ЭД, происходящее в результате изменений скорости движения объекта, на котором установлен приёмо-передатчик. Следствием появления эффекта Доплера является доплеровский сдвиг поднесущей частоты и искажения сигнала [3; 4].

Таким образом, при использовании пассажирами поезда сети мобильной связи (МС) на качество сигнала может оказать влияние скоростной режим движения. Для оценки влияния скорости движения поезда на качество радиосвязи нужно разработать методику расчёта искажений сигнала в результате действия ЭД.

2. ОЦЕНКА ИСКАЖЕНИЙ СИГНАЛА В РАДИОКАНАЛЕ ЗА СЧЁТ ЭФФЕКТА ДОПЛЕРА

Искажения сигнала в радиоканале за счёт эффекта Доплера происходят из-за наступления паразитной частотной модуляции (ПЧМ). Это проявляется следующим образом:

1) потеря части мощности полезного сигнала, не прошедшей через усилитель (фильтр) промежуточной частоты (УПЧ) приёмника при сдвиге несущей частоты f_0 на величину паразитной девиации f_d (динамическая составляющая погрешности), причём увеличение f_0 происходит, например, в случае приближения приёмника МС к базовой станции (БС), уменьшение f_0 — в случае отдаления от БС;

2) попадание спектров соседних каналов (смежных поднесущих частот) в полосу УПЧ (помеховая составляющая погрешности).

Искажения можно оценить с помощью дисперсии суммарной погрешности σ_ε^2 на выходе приёмника, которая состоит из двух составляющих (динамической $\sigma_{\text{дин}}^2$ и помеховой $\sigma_{\text{пом}}^2$). При условии прямоугольной формы нормированной спектральной плотности мощности огибающей радиоимпульса $S_\lambda(\omega)$, имеющей косинусоидальную форму зависимости амплитуды от времени [5], и идеального усилителя промежуточной частоты (УПЧ) можно записать следующие соотношения (рис. 1):

$$\sigma_{\text{дин}}^2 = \sigma_{\text{пом}}^2; \sigma_\varepsilon^2 = \sigma_{\text{дин}}^2 + \sigma_{\text{пом}}^2 = 2\sigma_{\text{эд}}^2.$$

Отсюда, приведённая дисперсия суммарной погрешности от действия ЭД, равная отношению мощности σ_ε^2 к мощности полезного сигнала, будет иметь вид:

$$\delta_{\text{эд}}^2 = \frac{2\sigma_{\text{эд}}^2}{\sigma_{\text{чм}}^2}, \quad (1)$$

где $\sigma_{\text{чм}}^2$ — дисперсия (мощность) частотно-модулированного сигнала (радиоимпульса с длительностью $\tau_{\text{чмп}}$).

Формула (1) верна для обоих случаев движения: сближения приёмника с БС (частота повышается) или удаления его от БС (частота понижается).

Для принятых выше условий (рис. 1) можно записать выражение дисперсии $\sigma_{\text{эд}}^2$ [5]:

$$\sigma_{\text{эд}}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega_0 + (\Delta\omega_{\text{эф}})/2}^{\omega_0 + (\Delta\omega_{\text{эф}})/2 + \Delta\omega_{\text{пчм}}} S_\lambda(\omega) d\omega, \quad (2)$$

$$\sigma_{\varepsilon}^2 = \sigma_{\text{дин}}^2 + \sigma_{\text{пом}}^2$$

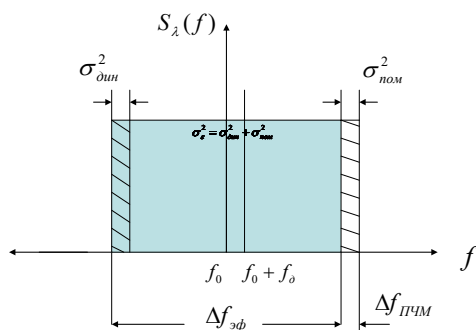


Рис. 1. К расчёту приведённой дисперсии суммарной погрешности от действия эффекта Доплера (рисунок авторов).

где $\Delta\omega_{\text{эф}} = 2\pi\{2\Delta F_{\lambda}(M_{\text{чм}}+1)\}$ (2а) – эффективная полоса частот сигнала с частотной модуляцией (ЧМ) (эффективная полоса УПЧ) [6];

$\Delta F_{\lambda} \approx \frac{1}{\tau_{\text{имп}}}$ – эффективная полоса частот

цифрового сигнала [5];

$M_{\text{чм}}$ – индекс частотной модуляции;

$\Delta\omega_{\text{ПЧМ}} = 2\pi\{2M[f_{\text{ПЧМ}}](M_{\text{ПЧМ}}+1)\}$ (2б) – эффективная полоса частот паразитной частотной модуляции (ПЧМ), возникающей за счёт ЭД;

$M[f_{\text{ПЧМ}}]$ – среднее значение модулирующей частоты $f_{\text{ПЧМ}}$ паразитной ЧМ от действия ЭД с индексом модуляции $M_{\text{ПЧМ}}$ (рис. 2);

ω_0 – несущая круговая частота сигнала;

$S_{\lambda}(\omega) = \frac{A_{\lambda}}{2\pi}$ – спектральная плотность

мощности сигнала [5].

Отсюда, значения дисперсий $\sigma_{\text{эд}}^2$, $\sigma_{\text{чм}}^2$ и приведённой суммарной погрешности $\sigma_{\text{эд}}^2$ равны:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{эд}}^2 &= \frac{1}{2\pi} \int_{\omega_0 + (\Delta\omega_{\text{эф}})/2}^{\omega_0 + (\Delta\omega_{\text{эф}})/2 + \Delta\omega_{\text{ПЧМ}}} (A_{\lambda}/2\pi) d\omega = (A_{\lambda}/(2\pi)^2) \cdot \Delta\omega_{\text{ПЧМ}}; \\ \sigma_{\text{чм}}^2 &= 2 \left[\frac{1}{2\pi} \int_{\omega_0}^{\omega_0 + (\Delta\omega_{\text{эф}})/2} (A_{\lambda}/2\pi) d\omega \right] = (A_{\lambda}/(2\pi)^2) \cdot \Delta\omega_{\text{эф}}; \quad (3) \\ \delta_{\varepsilon, \text{эд}}^2 &= 2(\Delta\omega_{\text{ПЧМ}} / \Delta\omega_{\text{эф}}) = 2(\Delta f_{\text{ПЧМ}} / \Delta f_{\text{УПЧ}}), \end{aligned}$$

где $\Delta f_{\text{эф}} = \Delta f_{\text{УПЧ}}$ – эффективная ширина полосы частот УПЧ.

Таким образом, для расчёта искажений (погрешности) от действия ЭД необходимо определить величину эффективной полосы частот ПЧМ $\Delta f_{\text{ПЧМ}}$. Для этого требуется рассчитать математическое

ожидание случайной величины $f_{\text{д}}$ и индекс ПЧМ:

$$M_{\text{ПЧМ}} = \frac{M[f_{\text{ПЧМ}}]}{M[f_{\text{д}}]},$$

равный отношению средних значений модулирующей частоты ПЧМ и паразитной девиации.

3. ОЦЕНКИ ЧАСТОТЫ ДЕВИАЦИИ ПЧМ ЗА СЧЁТ ДЕЙСТВИЯ ЭФФЕКТА ДОПЛЕРА

Вследствие паразитной частотной модуляции из-за действия ЭД (доплеровского рассеивания частоты) несущая частота f_0 сдвигается на величину $\pm f_{\text{д}}$. Случайная величина $f_{\text{д}}$ изменяется во времени (зависит от частоты f_0 , условий распространения сигнала, в том числе рельефа трассы, параметров перемещения подвижного объекта сети мобильной связи) [5].

Как отмечалось выше, эффект Доплера приводит к тому, что спектр полезного сигнала случайным образом «перемещается» по оси частот (рис. 1). При этом часть полезной информации теряется (не проходит через полосу УПЧ). В то же время в полосу УПЧ попадают посторонние сигналы соседних каналов, которые являются для него помехой.

Частоту девиации $f_{\text{д}}$ можно представить в виде следующего произведения: коэффициента k (учитывающего условия распространения радиосигнала, например, дождь или туман), скорости движения объекта v , несущей частоты f_0 , $\cos q$ (угол между расположением передатчика и направлением распространения сигнала), скорости



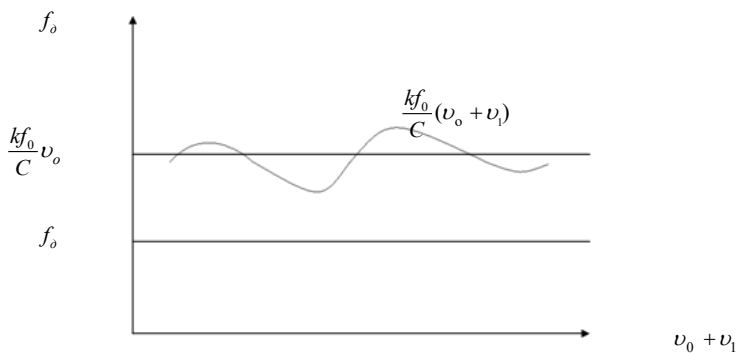


Рис. 2. График изменения девиации частоты f_d (для случая неравномерного движения объекта) по синусоидальному закону с частотой $M[f_{пмч}]$ (рисунок авторов).

света C . Выражение для расчёта частоты девиации f_d имеет следующий вид [5]:

$$f_d = \kappa \cdot v \cdot f_0 \cos q / C.$$

Для условий железнодорожного транспорта все объекты (вышки БС, подвижной состав) расположены вдоль железнодорожного полотна. Поэтому угол q между приёмником, расположенным на БС (или в кабине машиниста, или вагоне поезда), и передатчиком, находящимся на тех же объектах, приближается к нулю (что соответствует наихудшему случаю, т.е. наибольшему влиянию ЭД). Если принять $\kappa = 1$, $\cos q = 1$, то выражение для частоты девиации можно преобразовать так:

$$f_d = \frac{f_0}{C} v, \quad (4)$$

где v — скорость движения объекта, является функцией от случайных величин: ускорения a и времени движения объекта t в режиме замедления или ускорения (рис. 2).

Для расчёта ширины полосы ПЧМ и индекса паразитной частотной модуляции необходимы оценки $M[f_d]$ и $M[f_{пмч}]$, которые определяются средней скоростью движения поезда v_0 и средним временем смены скоростных режимов поезда t_d .

Тогда, согласно формуле (4), величины $M[f_d]$ и $M[f_{пмч}]$ соответственно равны:

$$M[f_d] = \frac{f_0}{C} v_0 = \frac{f_0}{C} M[\pm a \cdot t_d], \quad (5)$$

где $v_0 = M[\pm a \cdot t_d]$ — среднее значение скорости поезда при неравномерном движении;

$$M[f_{пмч}] = M\left[\frac{1}{T_d}\right], \quad (6a)$$

где $T_d = 2 t_d$ (6б) — период изменения скорости движения (по аналогии с синусоидальной зависимостью (рис. 2)).

Величина v_0 — это произведение двух независимых случайных величин, а именно: ускорения a и времени t_d . Отсюда, математическое ожидание произведения случайных величин (a и t_d) есть произведение их математических ожиданий [6], т.е.:

$$M[v_0] = M[a] \cdot M[t_d].$$

Для равновероятных законов распределения плотности вероятностей случайных величин $\Phi(a) = 1/A$ и $\Psi(t_d) = 1/T$, где A , T — соответственно, предельные значения ускорения a и времени t_d (начиная с нуля), после операции усреднения получим $M[a]$ и $M[t_d]$:

$$M[a] = A/2, \quad M[t_d] = T/2.$$

Среднее значение частоты изменения скоростных режимов (6а) равно:

$$M[f_{пмч}] = 1/T. \quad (7)$$

Пример: если $A = 2 \text{ м/с}^2$, $T = 60 \text{ с}$, $v_0 = 108 \text{ км/ч} = 30 \text{ м/с}$, $f_0 = 2,4 \text{ ГГц}$, то на основании формул (5), (6а), (6б), (7) получим:

$$M[f_d] = \frac{2,4 \cdot 10^9 \text{ Гц} \cdot 30 \text{ м/с}}{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}} = 240 \text{ Гц};$$

$$M[f_{пмч}] = \frac{1}{60 \text{ с}} = 0,0167 \text{ Гц};$$

$$\Delta f_{пчм} \cong 2 \cdot M[f_d] = 480 \text{ Гц}.$$

Рассчитанное значение $M[f_d]$, согласно опубликованным данным [4], окажет негативное влияние на качество радиосвязи, т.е. вызовет ошибки при приёме радиоимпульсов.

Таким образом, величина погрешности (искажений полезного сигнала) от действия ЭД $\delta_{эд}^2$ для полосы $\Delta f_{упч} = 2 \cdot 10^9 \cdot 1,3 = 2,6 \cdot 10^9 \text{ Гц}$ (рассчитанной по формуле (2а), где $\Delta F_\lambda = 10^9 \text{ Гц}$, $M = 0,3$ [8]), согласно формуле (3), равна:

$$\delta_{\varepsilon \text{ЭД}}^2 = \frac{2 \cdot 480 \text{ Гц}}{2,6 \cdot 10^9 \text{ Гц}} = 369,23 \cdot 10^{-9} \approx 0,37 \cdot 10^{-6}.$$

Величина погрешности $\delta_{\varepsilon \text{ЭД}}^2$ соизмерима с искажениями от действия внешних помех и других источников искажений [9].

Для уменьшения искажения за счёт действия ЭД в приёмниках предусматривается установка систем автоматической подстройки частоты (АПЧ) несущего сигнала.

Кроме смещения полосы частот принимаемого сигнала, действие ЭД может привести к искажениям за счёт ошибок синхронизации при когерентном приёме. В качестве примера можно рассмотреть случай движения приёмника радиосигналов навстречу передатчику со скоростью 120 км/ч (работа ведётся на частоте 2,5 ГГц с длительностью периода 400 пс). Смещение (увеличение) частоты в результате ЭД составит величину 275 Гц и вызовет уменьшение длительности сигнала примерно на 11 нс за счёт уменьшения периода несущей частоты [4]. Радиоимпульс как бы сжимается во времени. При этом количество периодов несущего сигнала за время длительности импульса и количество импульсов в единицу времени (скорость передачи сигналов) не изменятся. Однако сокращение длительности импульсов на 11 нс может привести к временному сдвигу τ входного радиоимпульса относительно опорного сигнала в когерентном приёмнике. В результате окончательное решение по поводу значения принятой цифры на фоне помех может быть ошибочным. Ошибка $\varepsilon(\tau)$ за счёт некогерентности сигналов скажется на величине меток многоканального приёмника на входе решающего устройства, которое после выбора максимальной метки определяет значение переданной цифры.

Длительность τ при фиксированном значении несущей частоты есть переменная величина, зависящая от скорости и направления движения объекта. На выходе каналов приёмника каждая метка представляет собой сумму сигнальной $g(\lambda)$ и помеховой $n(\lambda)$ составляющих значения коэффициента корреляции $R(\lambda)$, где λ означает переданный сигнал (цифру). В «своём канале» сигнальная составляющая максимальна, так как входной сигнал

соответствует опорному. В «чужом канале» $g(\lambda)$ равна нулю на основании принципа ортогональности [6]. При некогерентном приёме сигнальная составляющая в «своём канале» равна значению автокорреляционной функции $R_{\text{ав}}(\tau)$, которое меньше, чем величина функции при $\tau = 0$ $R_{\text{ав}}(0)$. В чужом канале $g(\lambda)$ равна значению функции взаимной корреляции $R_{\text{вз}}(\tau)$. Отсюда, ошибку в «своём канале» после деления на величину мощности сигнала $\sigma_{\lambda}^2 = \sigma_{\text{чм}}^2$ можно оценить как:

$$\varepsilon(\tau) = [1 - r_{\text{ав}}(\tau)],$$

где $r_{\text{ав}}(\tau)$ — нормированная функция автокорреляции переданного сигнала.

Нормированная функция автокорреляции для радиоимпульса имеет вид:

$$r(\tau) = \frac{\sin \omega \tau}{\omega \tau} \quad [5].$$

При этом ω — круговая частота, соответствует частоте несущего сигнала. Учитывая, что несущая частота и временной сдвиг (уменьшение длительности импульса в результате действия ЭД) отличаются в рассмотренном выше примере на три порядка, величина искажений $g(\tau)$ (отклонения от максимального значения) составляет $\varepsilon(\tau) = (3 \cdot 10^{-5})\%$. Однако с увеличением скорости движения объектов погрешность за счёт некогерентности сигналов на входе приёмника будет возрастать.

Если зафиксировать скорость движения (например, $v_0 = 30$ м/с) и изменять только несущую частоту f_0 , то для $f_0 = 2,4$ ГГц частотный сдвиг в процентах на основании формулы (4) будет равен $(4,7 \cdot 10^{-2})\%$. С ростом значения несущей частоты сдвиг уменьшается в процентах. Так, для инфракрасного диапазона 400 ТГц, например, атмосферной (лазерной) связи частотный сдвиг составляет $(10^{-5})\%$. Это свидетельствует о том, что эффект Доплера наиболее опасен для радиодиапазона.

4. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ

Система автоматической подстройки частоты АПЧ устанавливается в усилителе промежуточной частоты УПЧ приёмника. Как отмечено выше, система АПЧ отслеживает изменения несущей частоты f_0 и производит её подстройку [5].



В основе оценки эффективности лежит сравнение величины приведённой суммарной дисперсии погрешности от действия ЭД с использованием АПЧ $\delta_{\text{АПЧ}}^2$ и без системы АПЧ $\delta_{\text{ЭД}}^2$.

Анализ приведённой суммарной дисперсии погрешности $\delta_{\text{ЭД}}^2$ и соответствующие расчётные формулы рассмотрены в предыдущих разделах.

Как отмечено выше, для анализа работы АПЧ можно представить эффект Доплера как паразитную частотную модуляцию ПЧМ, модулирующую полезный сигнал по закону изменения скорости движения поезда. Поэтому нужно оценить ширину полосы частот ПЧМ $\Delta f_{\text{ПЧМ}}$ по формуле (26) [6].

Величина $\Delta f_{\text{ПЧМ}}$ показывает возможный диапазон изменений частоты девиации f_d (рис. 2). Наряду с полосой $\Delta f_{\text{ПЧМ}}$ целесообразно ввести понятие мгновенного спектра $\Delta f_{\text{МГН}}$ [6], который характеризует динамику изменения частоты f_d . Это позволит по-другому сформулировать задачу АПЧ.

Цель системы АПЧ — отслеживать изменения несущей частоты f_0 в полосе мгновенного спектра паразитной частотной модуляции, равной:

$$\Delta f_{\text{МГН}} = 2 \cdot M[f_{\text{ПЧМ}}]. \quad (8)$$

Принцип работы АПЧ можно описать следующим образом. Управляющий сигнал $\lambda(t)$ с выхода частотного детектора (рис. 3) поступает на управляющий элемент, например, варикап в нагрузке гетеродина или частотно-модулируемого генератора (ЧМГ) и изменяет частоту выходного синусоидального сигнала ЧМГ в соответствии с изменениями входного сигнала, происходящими за счёт ЭД. В смесителе происходит сравнение частот двух сигналов. Погрешность $\delta_{\text{АПЧ}}^2$ при использовании системы АПЧ будет определяться величиной $\Delta f_{\text{МГН}}$ (полосой удержания) [5]. Главным элементом в системе АПЧ является управляющий элемент (управитель), а именно: полупроводниковый диод, у которого барьерная ёмкость p - n перехода зависит от приложенного обратного напряжения. Быстродействие этого элемента (скорость изменения ёмкости закрытого перехода варикапа от приложенного к нему запирающего напряжения $\lambda(t)$) непосредственно влияет на качество подстройки частоты входного сигнала.

Таким образом, эффективность системы АПЧ определяется скоростью отслеживания изменений амплитуды управляющего сигнала, зависящей от величин ускорения a и частоты смены скоростных режимов (или продолжительности t_d). Быстродействие управляющего элемента определяется электронными характеристиками материала (например, эффективной массой электрона, чистотой исходного химического элемента, размерами полупроводникового кристалла) [9].

Значение эффективной полосы частот сигнала, равное величине $\Delta f_{\text{УПЧ}}$, рассчитывается по формуле (2а), представленной выше.

Величина приведённой суммарной дисперсии погрешности от действия ЭД для приёмников с системой АПЧ, согласно выражениям (1), (3), определяется следующим образом:

$$\delta_{\text{АПЧ}}^2 = \frac{2 \cdot \Delta f_{\text{МГН}}}{\Delta f_{\text{УПЧ}}}. \quad (9)$$

На основании уже принятых выше значений $M[f_{\text{ПЧМ}}] = \frac{1}{60\text{с}} = 0,0167\text{Гц}$ (7) и $\Delta f_{\text{УПЧ}} =$

$2,6 \cdot 10^9\text{Гц}$ (2а) можно оценить ширину мгновенного спектра $\Delta f_{\text{МГН}}$ и приведённую суммарную погрешность $\delta_{\text{АПЧ}}^2$.

Так, на основании формулы (8) ширина мгновенного спектра ПЧМ равна $\Delta f_{\text{МГН}} = 2(1/60\text{с})$ (8), что означает изменение режимов движения в среднем через 60 с.

Значение погрешности $\delta_{\text{АПЧ}}^2$ с учётом действия системы АПЧ равно:

$$\delta_{\text{АПЧ}}^2 = \frac{2 \cdot 2 \cdot 0,0167}{2,6 \cdot 10^9} = 0,257 \cdot 10^{-10}.$$

Величина приведённой суммарной дисперсии погрешности без системы АПЧ (рассчитанная в предыдущем параграфе) равна $\delta_{\text{ЭД}}^2 = 0,37 \cdot 10^{-6}$.

Отсюда, система АПЧ позволяет уменьшить погрешность от действия ЭД на четыре порядка. Сравнение расчётов по формулам (3) и (9) показывает, что улучшение качества сигнала происходит за счёт значительно меньшей ширины полосы частот мгновенного спектра по сравнению с шириной полосы ПЧМ, а именно: $\Delta f_{\text{МГН}} \ll \Delta f_{\text{ПЧМ}}$.

Влияние ЭД можно также оценить с помощью вероятности ошибки при приёме элементарного импульса $P_{\text{ош}}$ за счёт сдвига полосы частот канала. Для оцифрованных первичных сигналов с нормальным зако-

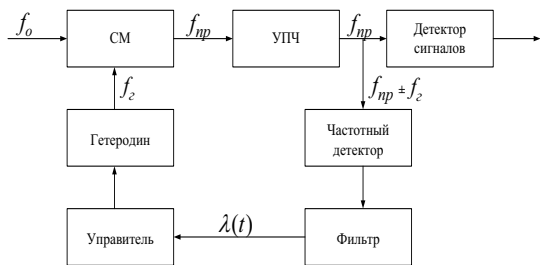


Рис. 3. Схема автоподстройки частоты ($f_{пр} \pm f_d$) за счёт формирования управляющего напряжения $\lambda(t)$ и ЧМГ [5], где СМ – смеситель; УПЧ – усилитель промежуточной частоты; f_c – частота гетеродина (ЧМГ); $f_{пр}$ – промежуточная частота; f_d – девиация частоты.

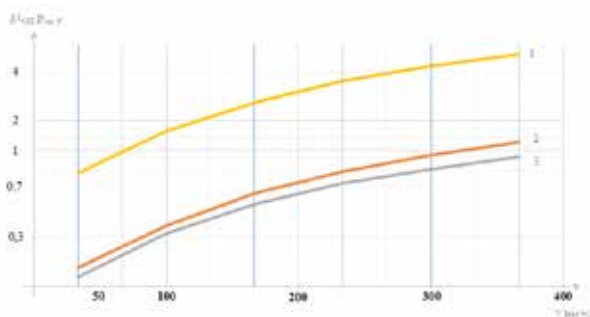


Рис. 4. Зависимости погрешности $\delta^2_{\epsilon_{эд}}$ ($\times 10^{-6}$), вероятности ошибки $P_{ош}$ ($\times 10^{-7}$), эффективности АПЧ γ ($\times 10^{-2}$) от скорости движения поезда v [1 – γ , 2 – $\delta^2_{\epsilon_{эд}}$, 3 – $P_{ош}$].

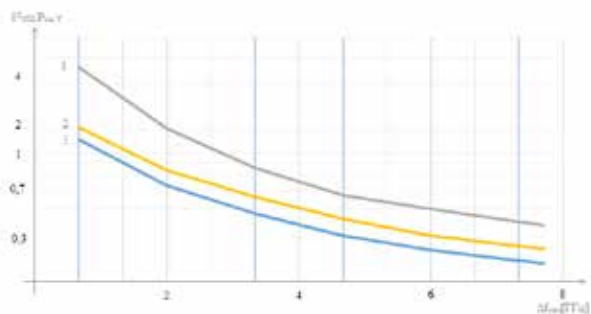


Рис. 5. Зависимости погрешностей $\delta^2_{\epsilon_{эд}}$ ($\times 10^{-6}$), $\delta^2_{\epsilon_{апч}}$ ($\times 10^{-10}$) и вероятности ошибки $P_{ош}$ ($\times 10^{-11}$) от ширины полосы Δf [1 – $\delta^2_{\epsilon_{эд}}$, 2 – $\delta^2_{\epsilon_{апч}}$, 3 – $P_{ош}$].

ном распределения плотности вероятностей (например, голос, видеоизображение) вероятность $P_{ош}$ можно рассчитать следующим образом [6]:

$$P_{ош} \cong \delta^2_{\epsilon_{эд}}/12. \quad (10)$$

Отсюда, выигрыш в качестве связи γ за счёт применения АПЧ составит:

$$\gamma = \frac{P_{ош}}{P_{ош\text{АПЧ}}} = \frac{0,37 \cdot 10^{-6}}{0,257 \cdot 10^{-10}} = 1,44 \cdot 10^4.$$

Уменьшение вероятности ошибки на четыре порядка свидетельствует о высокой эффективности системы АПЧ в борьбе с эффектом Доплера.

Характер влияния скорости движения поезда v и полосы частот сигнала $\Delta f_{упч}$ на величину приведённой дисперсии суммарной погрешности, вероятности ошибки и эффективность АПЧ представлен на рис. 4, 5.

Как видно из рис. 4, с ростом скорости движения поезда искажения от эффекта

Доплера увеличиваются, эффективность использования АПЧ повышается.

Как видно из рис. 5, увеличение скорости передачи сигналов (расширение полосы частот $\Delta f_{упч}$) снижает величину погрешностей $\delta^2_{\epsilon_{эд}}$ и $\delta^2_{\epsilon_{апч}}$, а также вероятность ошибки $P_{ош\text{АПЧ}}$. Согласно формулам (3) и (9), увеличение $\Delta f_{упч}$ не влияет на эффективность работы автоматической подстройки частоты. Эффективность АПЧ не меняется и при скорости движения поезда $v = 108$ км/ч равна $\gamma = 1,44 \cdot 10^4$. Однако в представленных расчётах не учитывается время задержки в петле обратной связи АПЧ, которое должно быть значительно меньше, чем длительность элементарного импульса, зависящая от скорости передачи сигналов. Рассчитанные значения вероятностей $P_{ош}$ с помощью аналитических формул (рис. 1, 2) дают результаты, которые на порядок лучше, чем полученные экспериментальным путём [1; 2]. Это можно объяснить тем, что



в исходных выражениях (1)–(3); (9); (10) не учитывается сложная электромагнитная обстановка на железнодорожном транспорте. Так, в реальных условиях кроме эффекта Доплера на качество сигналов влияют интермодуляционные помехи различного происхождения.

Известно, что в реализации системы АПЧ главное – установление режима захвата полосы частот $\Delta f_{\text{мгн}}$ и обеспечение удержания этой полосы. Это во многом зависит от инерционности и быстродействия элементной базы электроники, с помощью которой реализуется система АПЧ, а именно, от использования полупроводниковых материалов нового поколения на основе наноструктур [9].

5. ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ЭФФЕКТА ДОПЛЕРА

Анализ особенностей влияния эффекта Доплера на качество радиосвязи в условиях высокоскоростного движения позволяет сделать следующие выводы:

1. Эффект Доплера оказывает негативное влияние на качество связи при скоростях движения поезда более 100 км/ч. При этом значение приведённой суммарной дисперсии погрешности сигнала от действия эффекта Доплера по величине соизмеримо с действием внешних помех.

2. Эффективность борьбы с эффектом Доплера определяет в условиях железнодорожного транспорта качество связи подвижных объектов в сетях мобильной связи и Wi-Fi. Особенно это касается процесса передачи обслуживания абонента во время вызова от одной базовой станции (БС) к другой.

3. Скорость переключения с одной БС на другую (режим «мягкого хэндовера») зависит от скорости передачи информации и быстродействия элементной базы микроэлектроники, определяющей также эффективность борьбы с эффектом Доплера.

4. Чем выше стандарт мобильной связи, тем выше скорость передачи информации, тем жёстче требования к быстродействию системных блоков, контроллеров, коммутаторов доступа сетей мобильной связи, а также систем АПЧ приёмника.

5. В условиях высокоскоростного движения передача информации в кабину машиниста поезда может осуществляться с помощью мобильной связи стандарта 4G, обладающего более совершенными технологиями обмена данными между пользователями и базовой станцией, сетевыми протоколами, алгоритмами управления мобильностью абонентов в сети, методами борьбы с помехами, возникающими, в том числе, из-за действия эффекта Доплера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Current and future usage of railway radio communication systems between train and trackside. Report ITU-R M.2442-0 (11/2018). ITU, 2019 [Электронный ресурс]: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2442-2019-PDF-E.pdf. Доступ 14.06.2020.
2. Trinh Thi Huong, Nguyen Manh Dat, To Thi Thao, Nguyen Duy Viet, Vu Van Yem. Compensating Doppler Frequency Shift of High Speed Rail Communications. *International Journal of Applied Engineering Research*, Vol. 13, No. 17 (2018), pp. 13344–13348. [Электронный ресурс]: https://www.ripublication.com/ijaer18/ijaerv13n17_52.pdf. Доступ 14.06.2020.
3. Эффект Доплера в сетях: GSM, 3G, 4G. [Электронный ресурс]: <https://m.habr.com/ru/post/131248>. Доступ 14.06.2020.
4. Майков Д. Ю., Вершинин А. С. Влияние эффекта Доплера на OFDM-сигнал // Молодой учёный. – 2014. – № 21. – С. 175–179. [Электронный ресурс]: <https://moluch.ru/archive/80/pdf/>. Доступ 14.06.2020.
5. Васильев Д. В., Витоль М. Р., Горшенков Ю. Н. и др. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Радио и связь, 1982. – 528 с. [Электронный ресурс]: <http://narod.ru/disk/25746386000/Samoilo.djvu.html>. Доступ 14.06.2020.
6. Горелов Г. В., Фомин А. Ф., Волков А. А., Котов В. К. Теория передачи сигналов на железнодорожном транспорте. – М.: Транспорт, 2001. – 415 с. [Электронный ресурс]: <https://b-ok.global/dl/2900707/123b8a/>. Доступ 14.06.2020.
7. Эффект Доплера. [Электронный ресурс]: <http://light-science.ru/fizika/effekt-doplera.html>. Доступ 14.06.2020.
8. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Прикладные задачи теории вероятностей. – М.: Радио и связь, 1983. – 414 с. [Электронный ресурс]: <https://booksee.org/dl/771222/83fae2>. Доступ 14.06.2020.
9. Плеханов В. Г., Журавлёва Л. М. Изотопическое создание полупроводникового графена // Нанотехника. – 2012. – № 3. – С. 34–39. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18227204>. Доступ 14.06.2020.
10. Громаков Ю. А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи. – М.: Эко-Трендз, 2000. – 239 с. [Электронный ресурс]: <http://computersbooks.net/books/web-programmirovaniye/gromakov-ua/1997/files/standartiisistemi1997.djvu>. Доступ 14.06.2020.
11. Журавлёва Л. М., Курьянцев Д. Г., Лошкарев В. Л., Левшунов В. В. Оценка влияния радиоканала на качество видеосигнала систем видеонаблюдения на железнодорожном транспорте // Проектирование и технология электронных средств. – 2019. – № 3. – С. 34–39. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42574104>. Доступ 14.06.2020.



Evaluation of the Impact of Doppler Effect on Quality of HSR Radiocommunications

**Lyubov M. ZHURAVLEVA****Mikhail A. NILOV****Vladimir L. LOSHKAREV****Vladislav V. LEVSHUNOV**

*Zhuravleva, Lyubov M., Russian University of Transport, Moscow, Russia.
Nilov, Mikhail A., PJSC Megafon, Moscow, Russia.
Loshkarev, Vladimir L., PJSC Megafon, Moscow, Russia.
Levshunov, Vladislav V., PJSC MAXIM, Moscow, Russia*.*

ABSTRACT

The article proposes a methodology for evaluating radio signal distortions caused by Doppler effect (DE; also, Doppler shift) under the conditions of high-speed train traffic (HSR, high-speed rail). The objective of the work is to develop criteria for assessing quality of radiocommunications with moving objects in HSR environment. For this, a technique is proposed for calculating the probability of an error arising from Doppler effect. A rationale for relevance of the topic is that radiocommunications are used on railways for controlling train traffic and ensuring safety and achieving required quality of radio signals is a major challenge. Quality assessment is especially important for organization of broadband communication channels with locomotive drivers using mobile networks. To solve this problem, a model for assessing quality of radiocommunication influenced by DE is considered. Distortions of signals in a radio channel

due to DE are proposed to be estimated using the reduced dispersion of the total error, which consists of two components: dynamic and interference. Calculations of the total reduced signal error and the error probability for speeds above 100 km/h are described. Estimates of the effect of DE on a coherent receiver, in which errors may occur due to changes in duration of radio pulses, are suggested. Effectiveness of the receiver's automatic frequency control (AFC) system is analysed as a means of challenging DE. For this, the concept of an instantaneous spectrum of parasitic frequency modulation due to DE was introduced and quality of radio communication was calculated using the reduced dispersion of the total error. The efficiency of using AFC has been proven after comparing the evaluations of reception quality with and without AFC in the form of the ratio of error probabilities. The features of the use of mobile communications on railways under the conditions of DE are formulated.

Keywords: railway, high-speed traffic, Doppler effect, distortions, train speed, automatic frequency control, radio signal, radio communication quality.

*Information about the authors:

Zhuravleva, Lyubov M. – D.Sc. (Eng), Professor at the Department of Rail Automatics, Telemechanics and Communication of Russian University of Transport, Moscow, Russia, zhubov@mail.ru.

Nilov, Mikhail A. – Engineer of the Package Network Development Department of PJSC Megafon, Moscow, Russia, asp-nil@bk.ru.

Loshkarev, Vladimir L. – Engineer of the Overlay Networks Unit of PJSC Megafon, Moscow, Russia, bartok890@mail.ru.

Levshunov, Vladislav V. – Engineer of the Innovation Introduction Unit of PJSC MAXIM, Moscow, Russia, Levshynov1122@mail.ru.

Article received 11.01.2020, accepted 24.06.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 54.

1. Relevance.

Train traffic control and safety provision on railways are possible only with the use of radiocommunication systems. The performance indicators of the transportation process and of train traffic safety depend on quality of radio channels operations. Achieving the required quality of radio signals is the main task when organizing broadband communication channels with locomotive drivers. The solution to this problem is especially important for transmission of alarm information to moving rolling stock. Such signals are generated in video surveillance systems when dangerous situations are detected at railway transport facilities (crossings, bridges, tunnels) and are transmitted using a mobile network. Assessment of quality of radiocommunication should consider not only the effects of external interference from the overhead contact network, operating motors, and other sources of noise, but also interference distortions arising from the multibeam nature of propagation of signals reflected from obstacles, as well as from Doppler effect (DE). Doppler effect is a shift in carrier frequency caused by movement of a signal source or a receiver [1].

The *objective* of this work is to assess the influence of Doppler effect on quality of radiocommunication and evaluate ways to counter the consequences of DE. Probability of a digital signal error arising from Doppler scattering of carrier frequency was assumed as a criterion and rate of quality of radiocommunication. The methodology for calculating the error probability is based on calculation of reduced dispersion of the error of the useful signal due to the action of parasitic frequency modulation caused by DE.

The method proposed in the article for calculating reduced dispersion of the error made it possible to evaluate efficiency of reducing distortions using the circuit of automatic frequency control of the carrier signal. This task acquires particular importance with introduction of high-speed train traffic (HSR) and Wi-Fi systems to improve passenger service and safety. To achieve this objective, methods for assessing distortions from DE and analysis of effectiveness of methods of reducing it are required. The results of similar studies on the influence of Doppler effect on quality of radiocommunication in HSR environment can

be found, e.g., in [1; 2]. The problems associated with Doppler effect are especially acute in the countries with developed HSR, particularly, in China, where HS train speeds can exceed 400 km/h. Two methods of countering DE distortions proposed in [1; 2], are based on the principle of automatic carrier frequency control (AFC), which tracks changes in the carrier frequency f_0 and adjusts it. In the first method, automatic frequency control in the receiver is carried out by predicting the carrier shift Δf_0 in time depending on changes in train speed. For this, a special software is used, which is based on the calculation of higher order finite differences ($N \geq 2$), which is typical for non-Markov random processes. The resulting increment value ($\pm \Delta f_0$) adjusts the receiver local oscillator frequency. This method requires a large computational resource and high response speed of the element base. The implementation of this «algorithm of compensation» for DE based on processing a large amount of data is possible with the help of a new generation of electronics. In the simplest version, AFC circuit generates a control signal which is the difference between the current and previous values of Markov ($N = 1$) random process (changes in frequency of the carrier signal), which corresponds to a finite difference of the first order. The use of the process history in case of representing the carrier frequency oscillations in the form of a non-Markov process makes it possible to more accurately estimate the value of $\pm \Delta f_0$ and to adjust the receiver's local oscillator signal.

The second method is to control frequency of the local oscillator of the receiver using pilot signals added to the digital sequences (data frames) on the transmitting side. The purpose of the pilot signal is to track the propagation conditions of the radio signal, including the carrier frequency shift due to DE. After being detected at the receiving side, information about changes in carrier frequency is used to adjust the oscillator. Unlike the first method, the use of pilot signals does not require computing devices, but additional channel resources, for example, regarding frequency band. In HSR environment, a more effective way to counter the DE is the method of predicting carrier frequency changes Δf_0 , which allows more accurately predicting the carrier deviation from the nominal value.

The shift of carrier frequencies due to the DE entails a violation of the principle of orthogonality and inter-frequency interference.

Currently, most radio systems (for example, in mobile communications) are focused on using signals with orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) [3]. The principle of orthogonality is based on the coefficient of the correlation function, which allows choosing a system of orthogonal functions that provide the best transmission quality. If the input and reference signals in the receiver channel coincide, the correlation coefficient is equal to the maximum value, otherwise it is equal to zero. This method of forming a group signal allows to increase its spectral density by superimposing the spectra of adjacent subcarrier frequencies (subcarriers). In this case, adjacent subcarriers of the spectra do not interfere. Violation of the orthogonality condition of subcarriers leads to inter-frequency interference. The DE is among the causes of violation of the principle of orthogonality which occurs because of changes in the speed of movement of an object with installed transceiver. Emergence of Doppler effect consequently results in the Doppler shift of subcarrier frequency and signal distortion [3; 4].

Thus, when the train passengers use a mobile communication network (MN), the signal quality can be affected by the speed mode of traffic. To assess the influence of the train speed on quality of radiocommunication, it is necessary to develop a method for calculating signal distortions due to the DE.

2. Evaluation of signal distortions in a radio channel due to the Doppler effect

Distortions of the signal in a radio channel due to the Doppler effect occur because of the parasitic frequency modulation (PFM). This is manifested as follows:

1) loss of a part of the power of the useful signal that did not pass through the amplifier (filter) of the intermediate frequency (AIF) of the receiver when the carrier frequency f_0 is shifted by the amount of parasitic deviation f_d (dynamic component of the error), and an increase in f_0 occurs, for example, when MN receiver is approaching a base station (BS), a decrease in f_0 occurs in case when it is moving away from BS.

2) penetration of the spectra of adjacent channels (adjacent subcarriers) into AIF band (interference component of the error).

Distortions can be estimated using the dispersion of the total error σ_ε^2 at the output of the receiver, which consists of two components (respectively, dynamic σ_{dyn}^2 and interference σ_{int}^2 components). Given the rectangular shape of the normalized spectral power density of the radio pulse envelope $S_\lambda(\omega)$, which has a cosine shape of the amplitude versus time [5], and an ideal intermediate frequency amplifier (AIF), the following relations can be written (Pic. 1):

$$\sigma_{\text{dyn}}^2 = \sigma_{\text{int}}^2; \sigma_\varepsilon^2 = \sigma_{\text{dyn}}^2 + \sigma_{\text{int}}^2 = 2\sigma_{\text{de}}^2.$$

Hence, the reduced dispersion of the total error due to the DE, equal to the ratio of the power σ_ε^2 to the power of the useful signal, will have the form:

$$\delta_{\text{DE}}^2 = \frac{2\sigma_{\text{DE}}^2}{\sigma_{\text{FM}}^2}, \quad (1)$$

where σ_{fm}^2 is dispersion (power) of a frequency-modulated signal (a radio impulse with duration τ_{imp}).

Formula (1) is true for the both cases of movement: when the receiver is approaching the BS (the frequency increases) or when it is moving away from the BS (the frequency decreases). For the above conditions (Pic. 1), it is possible to write the expression for the dispersion σ_{de}^2 [5]:

$$\sigma_{\text{DE}}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega_0 + (\Delta\omega_{\text{ef}})/2}^{\omega_0 + [(\Delta\omega_{\text{ef}})/2] + \Delta\omega_{\text{PFM}}} S_\lambda(\omega) d\omega, \quad (2)$$

where $\Delta(\omega)_{\text{ef}} = 2\pi\{2\Delta F_\lambda(M_{\text{fm}} + 1)\}$ (2a) is the effective frequency band of the signal with frequency modulation (FM) (effective bandwidth of AIF) [6];

$\Delta F_\lambda \cong \frac{1}{\tau_{\text{imp}}}$ is the effective bandwidth of a digital signal [5];

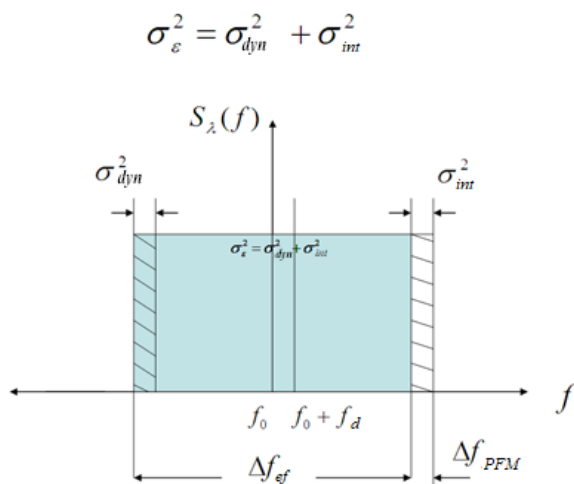
M_{fm} is the index of frequency modulation; $\Delta(\omega)_{\text{pfm}} = 2\pi\{2M[f_{\text{pfm}}](M_{\text{fm}} + 1)\}$ (2b) is the effective frequency band of parasitic frequency modulation (PFM) arising from DE;

$M[f_{\text{pfm}}]$ is an average value of the modulating frequency f_{pfm} of parasitic FM from the action of DE with modulation index M_{pfm} (Pic. 2);

$(\omega)_0$ is carrier circular frequency of the signal;

$S_\lambda(\omega) = \frac{A_\lambda}{2\pi}$ is spectral power density of the signal [5].





Pic. 1. On the calculation of the reduced dispersion of total error occurred due to the Doppler effect (authors' picture).

Hence, the values of the dispersions σ_{de}^2 , σ_{fm}^2 and the reduced total error σ_{ede}^2 are equal to:

$$\sigma_{DE}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega_0 + (\Delta\omega_{ef})/2}^{\omega_0 + ((\Delta\omega_{ef})/2) + \Delta\omega_{PFM}} (A_\lambda / 2\pi) d\omega = (A_\lambda / \epsilon^2) \cdot \Delta\omega_{PFM};$$

$$\sigma_{FM}^2 = 2 \left[\frac{1}{2\pi} \int_{\omega_0}^{\omega_0 + (\Delta\omega_{ef})/2} (A_\lambda / 2\pi) d\omega \right] = (A_\lambda \cdot \Delta\omega_{ef});$$

$$\sigma_{ede}^2 = 2(\Delta\omega_{PFM} / \Delta\omega_{ef}) = 2(\Delta f_{PFM} / \Delta f_{AIF}), \quad (3)$$

where $\Delta f_{ef} = \Delta f_{AIF}$ is effective bandwidth of AIF.

Thus, to calculate distortions (errors) occurred due to the DE, it is necessary to determine the value of the effective frequency band PFM Δf_{pfm} . To do this, it is required to calculate the mathematical expectation of a random variable f_d and PFM index $M_{PFM} = \frac{M[f_{PFM}]}{M[f_d]}$, which is equal to the ratio of the average values of PFM modulating frequency and parasitic deviation.

3. Estimates of frequency of PFM deviation due to the action of the Doppler effect

Due to parasitic frequency modulation occurred following the DE (Doppler frequency scattering), the carrier frequency f_0 is shifted by $\pm f_d$. The random variable f_d changes in time (depends on the frequency f_0 , the conditions of signal propagation, including the route topography, the parameters of movement of the moving object within the mobile communication network) [5].

As noted above, Doppler effect makes the spectrum of the useful signal randomly «move»

along the frequency axis (Pic. 1). In this case, a part of useful data is lost (it does not pass through the AIF band). At the same time, extraneous signals from adjacent channels get into AIF, and those extraneous signals are interference for the AIF.

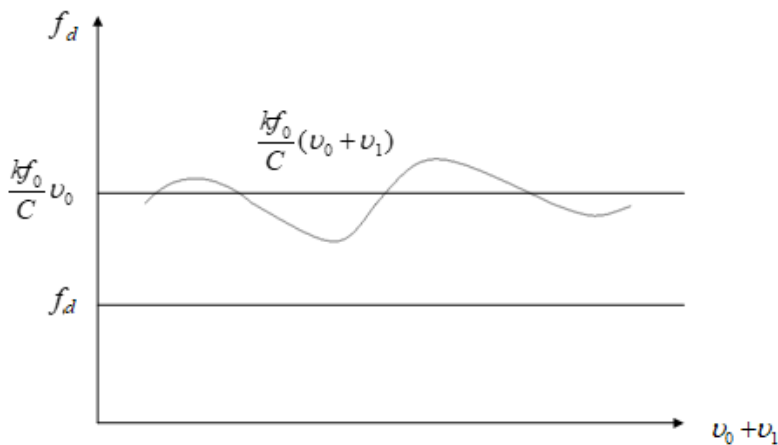
The deviation frequency f_d can be represented as the following product: coefficient κ (taking into account the propagation conditions of the radio signal, for example, rain or fog), speed (velocity) of the object moving v , the carrier frequency f_0 , $\cos q$ (q is the angle between the location of the transmitter and the direction of signal propagation), the speed of light C . The expression for calculating the frequency of deviation f_d has the following form [5]:

$$f_d = \kappa \cdot v \cdot f_0 \cdot \cos q / C.$$

In the case of railways, all objects (BS towers, rolling stock) are located along the railway track. Therefore, the angle q between the receiver located on BS (or in the driver's cab, or in the train wagon or coach) and the transmitter located at the same facilities approaches zero (which corresponds to the worst case, i.e., the greatest influence of DE). If we take $\kappa = 1$, $\cos q = 1$, then the expression for the deviation frequency can be transformed as follows:

$$f_d = \frac{f_0}{C} v, \quad (4)$$

where v is speed of movement of the object which is a function of random variables: acceleration a and time of movement of the



Pic. 2. Graph of change in frequency deviation f_d (for the case of uneven movement of an object) according to the sinusoidal law with frequency $M[f_{pm}]$ (authors' picture).

object t in the mode of deceleration or acceleration (Pic. 2).

To calculate the bandwidth of PFM and the parasitic frequency modulation index, estimates of $M[f_d]$ and $M[f_{PFM}]$ are required, and they are determined by the average train speed v_0 and the average time of changes in the train speed t_d .

Then, according to formula (4), the values $M[f_d]$ and $M[f_{PFM}]$, respectively, are equal to:

$$M[f_d] = \frac{f_0}{C} v_0 = \frac{f_0}{C} M[(\pm a \cdot t_d)], \quad (5)$$

where $v_0 = M[(\pm a \cdot t_d)]$ is average value of train speed in case of uneven movement;

$$M[f_{PFM}] = M\left[\frac{1}{T_d}\right], \quad (6a)$$

where $T_d = 2t_d$ (6b) is period of change in speed of movement (by analogy with the sinusoidal dependence (Pic. 2)).

The value v_0 is the product of two independent random variables, namely, acceleration a and time t_d . Hence, the mathematical expectation of the product of random variables (a and t_d) is the product of their mathematical expectations [6], i.e.:

$$M[v_0] = M[a] \cdot M[t_d].$$

For equiprobable distribution laws of probability density of random variables $\phi(a) = 1/A$ and $\Psi(t_d) = 1/T$, where A, T are, respectively, the limiting values of acceleration a and time t_d (starting from zero), after the averaging operation we obtain $M[a]$ and $M[t_d]$:

$$M[a] = A/2, \quad M[t_d] = T/2.$$

The average value of frequency of speed changing modes (6a) is equal to:

$$M[f_{pm}] = 1/T. \quad (7)$$

Example: if $A = 2 \text{ m/s}^2$, $T = 60 \text{ s}$, $v_0 = 108 \text{ km/h} = 30 \text{ m/s}$, $f_0 = 2,4 \text{ GHz}$, then based on formulas (5), (6a), (6b), (7) we get:

$$M[f_d] = \frac{2,4 \cdot 10^9 \text{ Hz} \cdot 30 \text{ m/s}}{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 240 \text{ Hz};$$

$$M[f_{PFM}] = \frac{1}{60 \text{ s}} = 0,0167 \text{ Hz};$$

$$\Delta f_{PFM} \approx 2 \cdot M[f_d] = 480 \text{ Hz}.$$

The calculated value of $M[f_d]$ according to published data [4] will have a negative impact on the quality of radiocommunications, i.e. will cause errors when receiving radio impulses.

Thus, the magnitude of the error (distortion of the useful signal) due to the action of the DE δ_{de}^2 for the band $\Delta f_{\text{AIF}} = 2 \cdot 10^9 \cdot 1,3 = 2,6 \cdot 10^9 \text{ Hz}$ (calculated by formula (2a), where $\Delta F_\lambda = 10^9 \text{ Hz}$, $M = 0,3$ [8]), according to formula (3) is equal to:

$$\delta_{\text{de}}^2 = \frac{2 \cdot 480 \text{ Hz}}{2,6 \cdot 10^9 \text{ Hz}} = 369,23 \cdot 10^{-9} \approx 0,37 \cdot 10^{-6}.$$

The magnitude of the error δ_{de}^2 is commensurate with distortions from external interference and other sources of distortion [9].

To reduce distortion due to the DE in receivers, it is envisaged to install systems for automatic frequency control (AFC) of the carrier signal.

In addition to shifting the frequency band of the received signal, the action of DE can lead to distortions resulted from synchronization errors in coherent reception. As an example, we can consider the case of a radio signal receiver moving towards the transmitter at a speed of 120 km/h, operating at a frequency of 2,5 GHz with a period of 400 ps. The shift



(increase) of frequency due to the DE will be 275 Hz and will cause a decrease in the signal duration by about 11 ps due to a decrease in the period of the carrier frequency [4]. The radio impulse is, as it were, compressed in time. In this case, the number of periods of the carrier signal during the impulse duration and the number of impulses per time unit (signal transmission rate) will not change. However, a reduction in the impulse duration by 11 ps can lead to a time shift τ of the input radio impulse relative to the reference signal in a coherent receiver. As a result, the final decision about the value of a received digit against the background of interference may be wrong. The error $\varepsilon(\tau)$ due to incoherence of signals will affect the value of marks of the multichannel receiver at the input of the solver, which, after selecting the maximum mark, determines the value of the transmitted digit.

The duration τ at a fixed value of the carrier frequency is a variable value that depends on speed and direction of the object. At the output of the receiver channels, each mark is the sum of the signal $g(\lambda)$ and interference $n(\lambda)$ components of the value of the correlation coefficient $R(\lambda)$, where λ means the transmitted signal (digit). In its «own channel» the signal component is maximum since the input signal corresponds to the reference one. In the «alien channel» $g(\lambda)$ is equal to zero based on the orthogonality principle [6]. In case of incoherent reception, the signal component in its «own channel» is equal to the value of the autocorrelation function $R_{ac}(\tau)$, which is less than the value of the function at $\tau = 0$ $R_{ac}(0)$. In an alien channel $g(\lambda)$ is equal to the value of the cross-correlation function $R_{cc}(\tau)$. Hence, the error in «own channel» after dividing it by the value of the signal power $\sigma_{\lambda}^2 = \sigma_{fm}^2$ can be estimated as:

$$\varepsilon(\tau) = [1 - r_{ac}(\tau)],$$

where $r_{ac}(\tau)$ is normalized autocorrelation function of the transmitted signal.

The normalized autocorrelation function for a radio impulse has the form $r(\tau) = \frac{\sin \omega \tau}{\omega \tau}$

[5]. In this case, ω as circular frequency corresponds to the frequency of the carrier signal. Considering that the carrier frequency and time shift (a decrease in the impulse duration due to the DE) differ in the example considered above by three orders of magnitude, the magnitude of the distortions $g(\tau)$ (deviations

from the maximum value) is $\varepsilon(\tau) = (3 \cdot 10^{-5})\%$. However, with an increase in speed of movement of objects, the error due to incoherence of signals at the input of the receiver will increase.

If we fix speed of movement (for example, $v_0 = 30$ m/s) and change only the carrier frequency f_0 , then for $f_0 = 2,4$ GHz the frequency shift in percent based on formula (4) will be $(4,7 \cdot 10^{-2})\%$. As the carrier frequency increases, the shift decreases as a percentage. So, for the infrared range of 400 THz, for example, in case of atmospheric (laser) communication, the frequency shift is $10^{-5}\%$. This indicates that Doppler effect is the most dangerous for the radio range.

4. Evaluation of the effectiveness of the automatic frequency control system

The automatic frequency control system (AFC) is installed in the intermediate frequency amplifier of AIF of the receiver. As noted above, AFC system monitors changes in the carrier frequency f_0 and adjusts it [5].

The efficiency assessment is based on comparison of the value of the reduced total dispersion of the error due to the DE with the use of AFC $\delta_{\varepsilon AFC}^2$ and without AFC system $\delta_{\varepsilon de}^2$.

The analysis of the reduced total dispersion of the error $\delta_{\varepsilon de}^2$ and the corresponding calculation formulas are discussed in the previous sections.

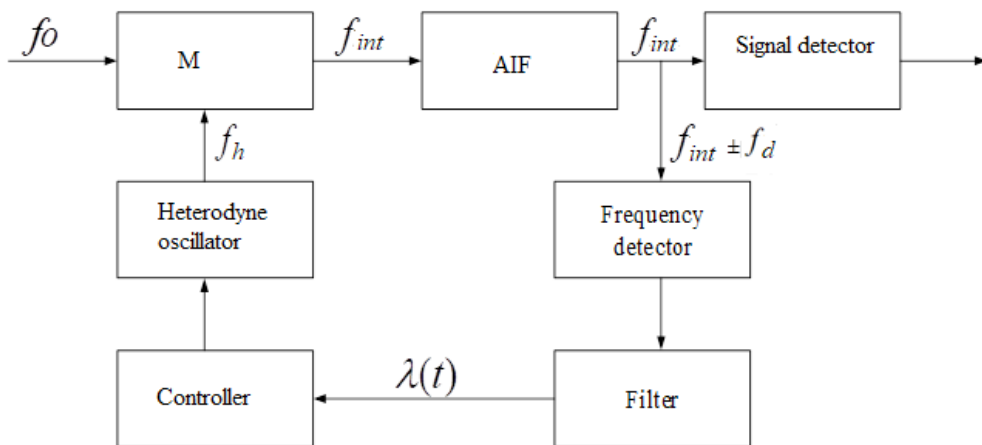
As noted above, to analyse the operation of AFC, Doppler effect can be represented as a parasitic frequency modulation PFM, modulating the useful signal according to the law of change in train speed. Therefore, it is necessary to estimate the bandwidth of PFM frequency Δf_{pfm} by the formula (2b) [6].

The value of Δf_{pfm} shows the possible range of changes in frequency of deviation f_d (Pic. 2). Along with the band Δf_{pfm} , it is advisable to introduce the concept of the instantaneous spectrum Δf_{inst} [6], which characterizes the dynamics of the change in frequency f_d . This will allow formulating AFC task in a different way.

The purpose of AFC system is to track changes in the carrier frequency f_0 in the band of the instantaneous spectrum of the parasitic frequency modulation, equal to:

$$\Delta f_{inst} = 2 \cdot M[f_{pfm}]. \quad (8)$$

The principle of AFC operation can be described as follows. The control signal $\lambda(t)$ from the output of the frequency detector



Pic. 3. Scheme of automatic frequency adjustment (automatic fine tuning) ($f_{int} \pm f_d$) through creating control voltage $\lambda(t)$ and FMO [5], where: M – mixer; AIF – intermediate frequency amplifier; f_h – frequency of heterodyne oscillator (FMO); f_{int} – intermediate frequency; f_d – frequency deviation.

(Pic. 3) is fed to a control element, for example, to a variable-capacitance diode (varicap diode) in the load circuit of a local oscillator or a frequency-modulated oscillator (FMO) and changes the frequency of the output sinusoidal signal of FMO in accordance with changes in the input signal occurring due to DE. The mixer compares the frequencies of two signals. The error δ^2_{eAFC} when using AFC system will be determined by the value of Δf_{inst} (locking range) [5]. The main element in AFC system is a control element (reactance control circuit), namely, a semiconductor diode, in which the barrier capacity of p - n junction depends on the applied reverse voltage. The speed of response of this element (the rate of change in the capacitance of the closed junction of the varicap following the blocking voltage $\lambda(t)$ applied to it) directly affects the quality of the input signal frequency adjustment.

Thus, the efficiency of AFC system is determined by the speed of tracking changes in the amplitude of the control signal, which depends on the values of acceleration a and the frequency of changing the speed modes (or duration t_d). The speed of response of the control element is determined by the electronic characteristics of the material (for example, the effective mass of the electron, purity of the original chemical element, the size of the semiconductor crystal) [9].

The value of the effective bandwidth of the signal, equal to the value of Δf_{aif} , is calculated by the formula (2a) presented above.

The value of the reduced total dispersion of the error due to the DE for receivers with AFC system according to expressions (1), (3) is determined as follows:

$$\delta^2_{\text{eAFC}} = \frac{2 \cdot \Delta f_{\text{inst}}}{\Delta f_{\text{AIF}}} \quad (9)$$

Based on the values already adopted above $M[f_{\text{PFM}}] = \frac{1}{60\text{s}} = 0,0167 \text{ Hz}$ (7) и $\Delta f_{\text{aif}} = 2,6 \cdot 10^9 \text{ Hz}$ (2a) it is possible to estimate the width of the instantaneous spectrum Δf_{inst} and the reduced total error δ^2_{eAFC} .

So, on the basis of formula (8) the width of the instantaneous spectrum PFM is equal to $\Delta f_{\text{inst}} = 2 \cdot (1/60 \text{ s})$ (8), which means a change in the modes of movement on average after 60 s.

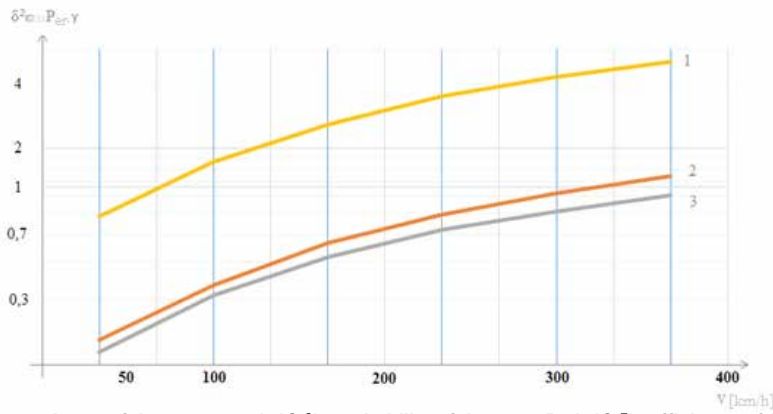
The value of the error δ^2_{eAFC} considering the action of the AFC system is equal to:

$$\delta^2_{\text{eAFC}} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 0,0167}{2,6 \cdot 10^9} = 0,257 \cdot 10^{-10}.$$

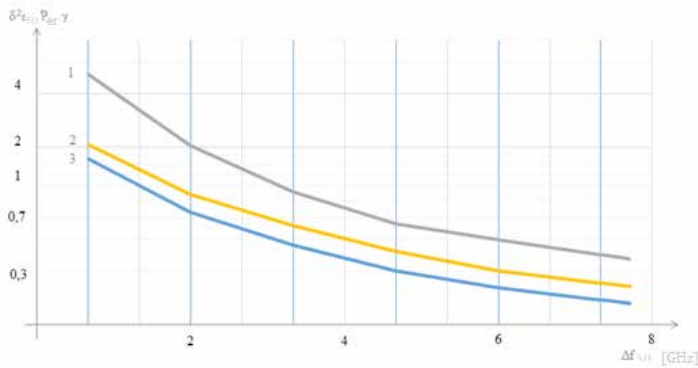
The value of the reduced total dispersion of the error without AFC system (calculated in the previous paragraph) is equal to $\delta^2_{\text{eDE}} = 0,37 \cdot 10^{-6}$.

Hence, AFC system makes it possible to reduce the error from DE action by four orders of magnitude. Comparison of calculations made with formulas (3) and (9) shows that improvement in signal quality occurs due to a significantly smaller bandwidth of the instantaneous spectrum compared to the bandwidth of PFM, namely: $\Delta f_{\text{inst}} \ll \Delta f_{\text{pfm}}$.

The DE can also be estimated using the error probability when receiving an elementary



Pic. 4. Dependence of the error $\delta^2_{\epsilon DE}$ ($\times 10^{-6}$), probability of the error P_{cr} ($\times 10^{-7}$), efficiency of AIF γ ($\times 10^4$) on train speed V [$1 - \gamma$, $2 - \delta^2_{\epsilon DE}$, $3 - P_{cr}$].



Pic. 5. Dependences of errors $\delta^2_{\epsilon DE}$ ($\times 10^{-6}$), $\delta^2_{\epsilon AIF}$ ($\times 10^{-10}$) and probability of the error P_{crAIF} ($\times 10^{-11}$) on the width of the band Δf_{AIF} [$1 - \delta^2_{\epsilon DE}$, $2 - \delta^2_{\epsilon AIF}$, $3 - P_{crAIF}$].

impulse P_{cr} due to the shift of the channel frequency band. For digitized primary signals with a normal probability density distribution (for example, voice, video), the probability P_{cr} can be calculated as follows [6]:

$$P_{cr} \approx \delta^2_{\epsilon DE} / 12. \quad (10)$$

Hence, the gain in quality of the connection γ due to the use of AFC will be:

$$\gamma = \frac{P_{cr}}{P_{crAFC}} = \frac{0,37 \cdot 10^{-6}}{0,257 \cdot 10^{-10}} = 1,44 \cdot 10^4.$$

A decrease in probability of error by four orders of magnitude indicates the high efficiency of AFC system in countering the Doppler effect.

The nature of influence of train speed V and the frequency band of the signal Δf_{AIF} on the value of the reduced dispersion of the total error, error probability and the efficiency of AFC is shown in Pic. 4, 5.

As seen from Pic. 4, with an increase in train speed, the distortion from Doppler effect

increases, and the efficiency of using AFC increases.

As seen from Pic. 5, an increase in the signal transmission speed (widening the frequency band Δf_{AIF}) reduces the magnitude of errors $\delta^2_{\epsilon DE}$ and $\delta^2_{\epsilon AIF}$, as well as probability of the error P_{crAIF} . According to formulas (3) and (9), an increase in Δf_{AIF} does not affect the efficiency of automatic frequency control. The efficiency of AFC does not change and at the train speed of $V = 108$ km/h is $\gamma = 1,44 \cdot 10^4$. However, the presented calculations do not consider the delay time in AFC feedback loop, which should be significantly less than the elementary impulse duration, which in turn depends on the signal transmission rate. The calculated values of P_{cr} probabilities using analytical formulas (Pic. 1, 2) give results that are an order of magnitude better than those obtained experimentally [1; 2]. This can be explained by the fact that in the original

expressions (1)–(3); (9); (10) the complex electromagnetic environment prevailing at railways is not taken into account. So, in real conditions, in addition to Doppler effect, intermodulation interference of various origins affects the quality of signals.

It is known that establishing the mode of capturing the frequency band Δf_{inst} and ensuring that this band is held are core elements of the implementation of AFC system. This largely depends on the inertia and speed of the electronic component base, with which AFC system is realized, namely, on the use of new generation semiconductor materials based on nanostructures [9].

5. Conclusions. Features of the operation of mobile communications at railways under the conditions of the Doppler effect action

Analysis of the features of the Doppler effect impact on the quality of radiocommunications in HSR environment allows us to draw the following conclusions:

1. Doppler effect has a negative impact on the quality of communications at train speeds over 100 km/h. In this case, the value of the reduced total dispersion of the signal error due to the Doppler effect is comparable in magnitude with the action of external interference.

2. For railways, the effectiveness of countering the Doppler effect determines the quality of communication of moving objects within mobile networks and Wi-Fi. This is especially true for the process of handing over a subscriber during a call from a base station (BS) to another.

3. The speed of switching from a base station to another («soft handover» mode) depends on speed of data transfer and speed of the element base of microelectronics, which also determines the effectiveness of countering the Doppler effect.

4. The higher is the mobile communication standard, the higher is the data transfer rate, the stricter are the requirements for speed of system units, controllers, access switches of mobile networks, as well as receiver's AFC systems.

5. In HSR environment, the transmission of data to the train driver can be carried out using 4G mobile communication, which has more advanced technology for exchanging data between users and the base station, network

protocols, algorithms for managing mobility of subscribers in the network, methods of combating interference arising, including those occurring due to the Doppler effect.

REFERENCES

1. Current and future usage of railway radio communication systems between train and trackside. Report ITU-R M.2442-0 (11/2018). ITU, 2019 [Electronic resource]: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2442-2019-PDF-E.pdf. Last accessed 14.06.2020.
2. Trinh Thi Huong, Nguyen Manh Dat, To Thi Thao, Nguyen Duy Viet, Vu Van Yem. Compensating Doppler Frequency Shift of High Speed Rail Communications. *International Journal of Applied Engineering Research*, Vol. 13, No. 17 (2018), pp. 13344–13348 [Electronic resource]: https://www.ripublication.com/ijaer18/ijaerv13n17_52.pdf. Last accessed 14.06.2020.
3. Doppler effect in networks: GSM, 3G, 4G [Effekt Doplera v setyakh: GSM, 3G, 4G]. [Electronic resource]: <https://m.habr.com/ru/post/131248>. Last accessed 14.06.2020.
4. Maikov, D. Yu., Verzhinin, A. S. Influence of Doppler effect on OFDM signal [Vliyaniye efekta Doplera na OFDM-signal]. *Molodoy ucheniy*, 2014, Iss. 21, pp. 175–179. [Electronic resource]: <https://moluch.ru/archive/80/pdf/>. Last accessed 14.06.2020.
5. Vasiliev, D. V., Vitol, M. R., Gorshenkov, Yu. N. [et al.]. Radio engineering circuits and signals [Radiotekhnicheskie tsepi i signaly]. Moscow, Radio i svyaz' publ., 1982, 528 p. [Electronic resource]: <http://narod.ru/disk/25746386000/Samoilo.djvu.html>. Last accessed 14.06.2020.
6. Gorelov, G. V., Fomin, A. F., Volkov, A. A., Kotov, V. K. Theory of signal transmission for railway transport [Teoriya peredachi signalov na zheleznodorozhnom transporte]. Moscow, Transport publ., 2001, 415 p. [Electronic resource]: <https://b-ok.global/dl/2900707/123b8a/>. Last accessed 14.06.2020.
7. Doppler effect. [Electronic resource]: <http://light-science.ru/fizika/effekt-doplera.html>. Last accessed 14.06.2020.
8. Ventzel, E. S., Ovcharov, L. A. Applied problems of the theory of probabilities [Prikladnye zadachi teorii veroyatnostei]. Moscow, Radio i svyaz' publ., 1983, 414 p. [Electronic resource]: <https://booksee.org/dl/771222/83fae2>. Last accessed 14.06.2020.
9. Plekhanov, V. G., Zhuravleva, L. M. Isotopic development of semiconductor grapheme [Izotopicheskoe sozdanie poluprovodnikovogo grafena]. *Nanotekhnika*, 2012, Iss. 3, pp. 34–39. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18227204>. Last accessed 14.06.2020.
10. Gromakov, Yu. A. Standards and systems of mobile radio communications [Standarty i sistemy podvizhnoi radiosvyazi]. Moscow, Eco-Trends publ., 2000, 239 p. [Electronic resource]: <http://computersbooks.net/books/web-programmirovaniye/gromakov-ua/1997/files/standartiisistemi1997.djvu>. Last accessed 14.06.2020.
11. Zhuravleva, L. M., Kuryantsev, D. G., Loshkarev, V. L., Levshunov, V. V. Assessment of the influence of the radio channel on quality of the video signal of video surveillance systems in railway transport [Otsenka vliyaniya radiokanala na kachestvo videosignala sistem videonablyudeniya na zheleznodorozhnom transporte]. *Proektirovaniye i tekhnologiya elektronnykh sredstv*, 2019, Iss. 3, pp. 34–39. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42574104>. Last accessed 14.06.2020.





Исследование эффективности сглаживающих реакторов РЖФА-6500



Владимир ЛОБЫНЦЕВ



Станислав ПОЛЕВ



Кирилл МОГИЛЕВСКИЙ

Лобынцев Владимир Васильевич – Российский университет транспорта, Москва, Россия.

Полев Станислав Сергеевич – Курчатowskiй комплекс ядерных транспортных энергетических технологий НИЦ «Курчатowskiй институт», Москва, Россия.

Могилевский Кирилл Георгиевич – ООО «Кинетик», Москва, Россия*.

Системы тягового электроснабжения постоянного тока получили своё распространение в ряде стран. Потребление электроэнергии системами тягового электроснабжения имеет явно выраженные сезонные и суточные пики. Пиковый характер потребления приводит к дополнительному нагреву токоведущих частей в связи с тем, что постоянные времени переходных тепловых и электрофизических процессов различаются на несколько порядков, поэтому снижение омического сопротивления электрооборудования при прочих равных условиях является чрезвычайно важной задачей.

В рамках решения проблемы повышения энергоэффективности оборудования тяговых подстанций постоянного тока были разработаны и изготовлены сглаживающие реакторы фильтрующей с бронестержневой радиально-цилиндрической магнитной системой с пониженным омическим сопротивлением, получившие название РЖФА-6500.

В 2018 году два блока реакторов РЖФА-6500 введены в опытно-промышленную эксплуатацию на одном из самых грузонапряжённых участков магистральных железных дорог постоянного тока, обеспечивающем пропуск поездов массой до 9000 тонн с размерами движения порядка ста пар поездов в сутки.

В целях определения сравнительных показателей энергоэффективности были запрошены данные по расходу электриче-

ской энергии на тягу поездов за аналогичные периоды до внедрения сглаживающих реакторов нового типа и после. От ОАО «РЖД» получены данные относительно размеров движения, типа подвижного состава и массы перевезённых грузов, согласно исполненному графику движения поездов на рассматриваемом участке. Полученная совокупность данных послужила основой для разработки многофакторной методики оценки энергоэффективности реакторов нового типа, а также их вклада в эффективность поездной работы на рассматриваемом сравнительном интервале времени. Ввиду того, что эффективность энергосилового оборудования зависит также от температуры окружающей среды, в методику расчёта был введён среднеинтегральный параметр среднесуточной температуры, который, как оказалось в ходе обработки исходных данных и представления их в виде характерных графических зависимостей, имеет сравнительное отличие – менее одного процента за аналогичные периоды наблюдений.

Точный количественный учёт расхода электрической энергии на тягу поездов, обмена реактивной энергии с питающей сетью, объёмов выполненных перевозок позволил провести объективное сравнение вклада сглаживающих реакторов нового типа в повышение эффективности поездной работы и снижение расходов электрической энергии на тягу поездов.

Ключевые слова: железная дорога, показатели энергоэффективности, размеры движения, сглаживающие реакторы, фильтрующее устройство, активная энергия, реактивная энергия.

*Информация об авторах:

Лобынцев Владимир Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры электроэнергетики транспорта Российского университета транспорта, Москва, Россия, Lobyntsev_VV@nrcki.ru.

Полев Станислав Сергеевич – ведущий специалист отдела сопровождения договоров Курчатowskiй комплекс ядерных транспортных энергетических технологий НИЦ «Курчатowskiй институт», Москва, Россия, stpolev@yandex.ru.

Могилевский Кирилл Георгиевич – заместитель генерального директора ООО «Кинетик», Москва, Россия, mogilevsk@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 27.04.2020, принята к публикации 23.06.2020.

For the English text of the article please see p. 78.

Повышение внимания к проблемам энергоэффективности и энергосбережения обусловлено ростом потребления электрической энергии во всём мире. Постепенный перевод транспортных систем с углеводородного топлива на электроэнергию одновременно требует как увеличения объёмов генерации, так и повышает требования к оборудованию систем её передачи и распределения в части снижения мощности потерь.

С развитием новых транспортных коридоров и увеличением объёмов перевозок отмечается значительный рост потребления электроэнергии системами тягового электроснабжения, имеющего явно выраженные сезонные и суточные пики. Пиковый характер потребления приводит к дополнительному нагреву токоведущих частей в связи с тем, что постоянные времени переходных тепловых и электрофизических процессов различаются на несколько порядков. В этой связи снижение омического сопротивления электрооборудования при прочих равных условиях является чрезвычайно важной задачей.

В рамках решения проблемы повышения энергоэффективности оборудования тяговых подстанций постоянного тока был разработан проект, а впоследствии изготовлены два комплекта сглаживающего реактора фильтр-устройства с пониженным омическим сопротивлением [1].

Ввиду того, что системы тягового электроснабжения постоянного тока получили своё распространение не только в России, но и в ряде европейских государств: Италии, Литве, Латвии, Эстонии, а также в Польше, в которой 80 % железных дорог электрифицированы на постоянном токе — указанный реактор может иметь высокую степень унификации.

Для проведения опытно-промышленной эксплуатации изготовленных реакторов, получивших аббревиатуру РЖФА-6500, АО «Трансэнерго» — филиалом ОАО «РЖД» были определены два участка постоянного тока с тяжеловесным движением Свердловской и Западно-Сибирской железных дорог.

Объектом внедрения первого комплекта из двух сглаживающих реакторов с бронестержневой радиально-цилиндрической магнитной системой стала тяговая подстанция «Лётная» Свердловской железной дороги [2]. Эта тяговая подстанция расположена на расчётном подъёме, что определяет сравнительно более высокий уровень нагрузки по фидерам контактной сети.

Два последовательно включённых блока РЖФА-6500 были также смонтированы во втором звене фильтр-устройства схемы Западно-Сибирской железной дороги без перенастройки его резонансных цепочек [1].

Уровень психофизического напряжения на шинах распределительного устройства постоянного тока тяговой подстанции

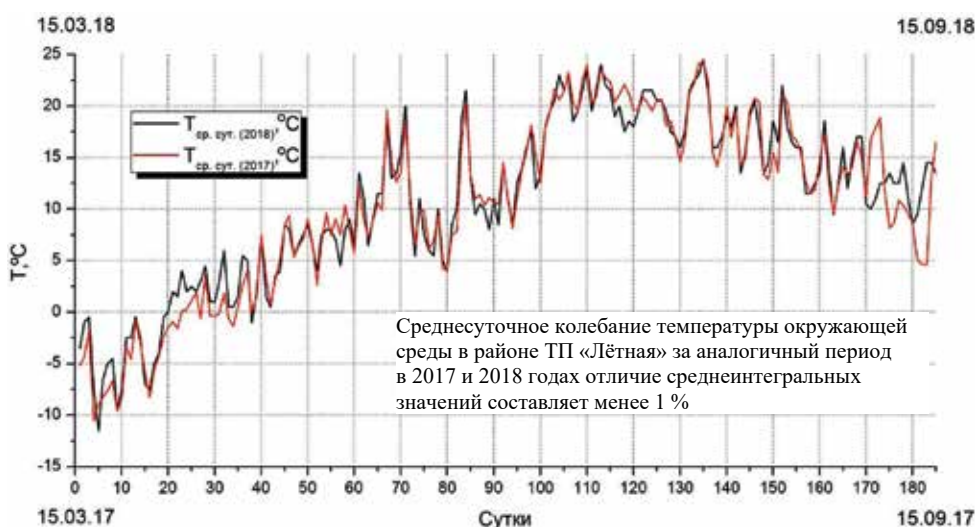


Рис. 1. Среднесуточное изменение температуры за характерные периоды наблюдений (составлено авторами).

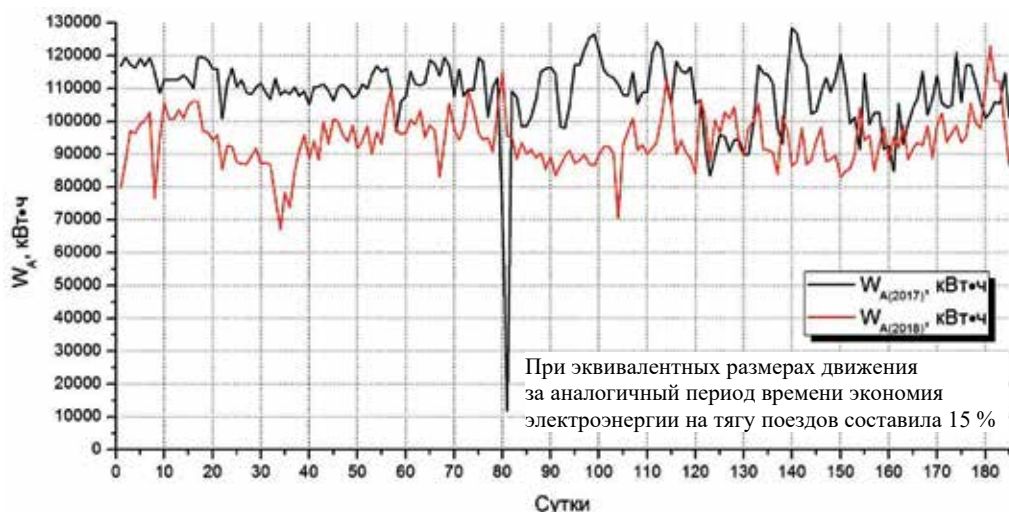


Рис. 2. Среднесуточный расход активной энергии на тягу поездов за характерные периоды наблюдений (составлено авторами).

в широком диапазоне значений тягового тока не превысил 15 В [3–7]. Увеличения воздействия опасных и мешающих влияний на устройства систем централизованной блокировки (СЦБ), связи и смежные линии продольного электроснабжения 6/10 кВ не отмечено, равно как и значительного нагрева элементов конструкции блоков РЖФА-6500 в процессе эксплуатации [8].

Реакторы типа РЖФА-6500 хорошо себя зарекомендовали, в том числе при эксплуатации в летнее время года, когда температура окружающего воздуха в тени

поднималась до +31°C [9]. График колебаний среднесуточной температуры за период опытно-промышленной эксплуатации представлен на рис. 1.

Для оценки энергетической эффективности реакторов нового типа на дистанции электроснабжения Шарташская (ЭЧЭ-232) были официально запрошены показания счётчиков активной и реактивной энергии по вводам преобразовательных трансформаторов ТП «Лётная» за полугодовой период (с 15.03.2018 по 15.09.2018 гг.) опытно-промышленной



Рис. 3. Среднесуточные показатели реактивной энергии за характерные периоды наблюдений (составлено авторами).

Таблица 1

Серия ЭПС	Месяцы 2017 года						
	03	04	05	06	07	08	09
2ЭС10	0	0	0	0	0	42	0
2ЭС6	44854	38510	41825	40586	33436	42834	39869
ВЛ10	12531	12240	9644	7323	8197	10841	10020
ВЛ10К	2197	2217	1942	1327	630	714	1147
ВЛ10У	187	203	0	0	0	0	44
ВЛ10УК	0	0	0	0	0	0	0
ВЛ11	3289	2934	3315	3000	2317	2305	1975
ВЛ11К	391	436	55	660	235	505	567
ВЛ11М	1329	1333	485	707	442	576	279
Итого	64779	57872	57266	53603	45257	57818	53900
Всего за рассматриваемый период 2017 г.						390495	
Серия ЭПС	Месяцы 2018 года						
	03	04	05	06	07	08	09
2ЭС10	69	0	58	0	286	264	69
2ЭС6	40112	38118	33938	34567	36756	37899	34967
ВЛ10	9318	8446	8528	7074	7116	9868	7045
ВЛ10К	1425	2312	1659	1235	2135	2565	1971
ВЛ10У	831	579	69	197	1073	2042	2146
ВЛ10УК	0	0	0	69	0	0	0
ВЛ11	1688	1080	1018	926	1154	1624	910
ВЛ11К	553	650	339	400	619	891	612
ВЛ11М	550	304	221	385	315	332	283
Итого	54546	51489	45830	44852	49455	55485	48003
Всего за рассматриваемый период 2018 г.						349659	

эксплуатации РЖФА-6500 и за аналогичный период предшествовавшего его внедрению года (с 15.03.2017 по 15.09.2017 гг.). По результатам обработки полученных данных построены графики среднесуточных значений активной энергии (рис. 2), израсходованной на тягу поездов, и реактивной энергии (рис. 3) – энергии обмена с питающей сетью.

Средние значения активной $W_{\text{Аср}}$ и реактивной $W_{\text{Рср}}$ энергий за полугодовой период определены с использованием следующих выражений:

$$W_{\text{Аср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W_{\text{Аи}}, \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

(1)

$$W_{\text{Рср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W_{\text{Ри}}, \text{ квар} \cdot \text{ч},$$

(2)

где $W_{\text{Аи}}$ и $W_{\text{Ри}}$ – среднесуточные показания активной и реактивной энергий;

n – количество дней в рассматриваемом периоде.

Для корректировки средних значений активной и реактивной энергий аналогичным образом рассчитана среднесуточная температура за рассматриваемые периоды:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

(3)

С помощью полученных средних температур для аналогичных периодов 2017 и 2018 гг. рассчитан поправочный температурный коэффициент:

$$\eta_T = \frac{T_{\text{ср}(2017)}}{T_{\text{ср}(2018)}}.$$

(4)

Объём выполненной работы электроподвижным составом (ЭПС) разного типа за март–сентябрь 2017–2018 гг. по Шарташской дистанции электроснабжения (ЭЧЭ-232) по нечётным путям приведён в табл. 1, по чётным путям – в табл. 2 (единицы измерения – 10 тыс. т • км брутто). На основании суммарных объёмов перевозок по обоим путям за аналогичные перио-



Таблица 2

Серия ЭПС	Месяцы 2017 года						
	03	04	05	06	07	08	09
2ЭС10	0	0	0	0	0	0	0
2ЭС6	22 312	21 786	21 294	20 817	24 649	25 684	24 973
ВЛ10	8 595	6 925	6 703	5 506	7 146	9 074	7 656
ВЛ10К	1 581	1 265	1 399	655	348	621	1 236
ВЛ10У	176	103	20	0	42	104	64
ВЛ10УК	0	0	0	0	0	0	0
ВЛ11	1 412	1 051	1 211	1 186	391	1 082	861
ВЛ11К	111	80	63	97	87	140	122
ВЛ11М	297	271	102	116	215	312	163
Итого	34 485	31 481	30 792	28 376	32 878	37 018	35 075
Всего за рассматриваемый период 2017 г.						230 106	
Серия ЭПС	Месяцы 2018 года						
	03	04	05	06	07	08	09
2ЭС10	0	0	0	0	0	0	0
2ЭС6	20 587	22 723	23 326	22 990	23 723	26 790	24 339
ВЛ10	8 001	6 918	8 228	6 794	8 152	8 693	7 962
ВЛ10К	1 363	2 098	1 707	1 406	1 777	2 239	2 540
ВЛ10У	412	606	199	148	988	1 625	2 157
ВЛ10УК	0	0	0	29	0	0	0
ВЛ11	1 033	556	284	487	693	884	717
ВЛ11К	232	398	129	101	243	526	365
ВЛ11М	132	108	106	185	122	249	354
Итого	31 760	33 406	33 978	32 139	35 698	41 006	38 433
Всего за рассматриваемый период 2018 г.						246 421	

ды 2017 и 2018 гг., рассчитан поправочный коэффициент:

$$\eta_v = \frac{\sum V_{2017}}{\sum V_{2018}}. \tag{5}$$

Для оценки энергоэффективности внедрения РЖФА-6500:

$$\varepsilon = \frac{\eta_v W_{\text{ср}(2017)}}{\eta_r W_{\text{ср}(2018)}}. \tag{6}$$

Удельные затраты энергии на перевозку 1 тонны брутто на 1 км:

$$w_0 = \frac{\sum W_A}{\sum V}. \tag{7}$$

Если эффективность работы РБФА-У-6500/3250 принять равной 100 %, то при известных коэффициентах $\eta_T = 0,967$ и $\eta_v = 1,041$, а также среднесуточных показателей расхода электроэнергии за период наблюдений $W_{A\text{ср}(2017)} = 108781,91 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$; $W_{A\text{ср}(2018)} = 94332,68 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ и её реактивной составляющей $W_{P\text{ср}(2017)} = 35168,18 \text{ квар} \cdot \text{ч}$, $W_{P\text{ср}(2018)} = 28080,71 \text{ квар} \cdot \text{ч}$ эффективность внедрения РЖФА-6500 по активной энергии, расходуемой на тягу поездов, составит $\varepsilon_A = 1,241$, по реактивной энергии $\varepsilon_p = 1,348$.

Если удельные затраты энергии на перевозку 1 тонны брутто на 1 км за 2017 год принять за 100 %, тогда эффективность локомотивной работы Э за аналогичный период наблюдений в 2018 году при известных коэффициентах η_T , η_v , суммарных расходах электроэнергии $\sum W_{A(2017)} = 20124653 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$; $\sum W_{A(2018)} = 17451546 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ на тягу поездов, рассчитанных с использованием выражения (7) $w_{0(2017)} = 3,243 \text{ Вт} \cdot \text{ч/т} \cdot \text{км}$ брутто, $w_{0(2018)} = 2,928 \text{ Вт} \cdot \text{ч/т} \cdot \text{км}$ брутто, составит: $\Theta = 9,71 \%$.

Вторым объектом внедрения реакторов нового типа является тяговая подстанция «Углерод» Западно-Сибирской железной дороги, питающая участок с интенсивным грузовым движением поездов единичной массы до 6000 тонн при объёмах движения до 120 пар поездов в сутки. Однако провести объективную оценку параметров энергосбережения [10] и уровня монетизации энергоэффективности двухблочного РЖФА-6500, согласно существующим нормативам [11], не представляется возможным. Причиной тому служит станция стыкования, располо-

женная в непосредственной близости от ТП «Углерод», которая за счёт питания мощной однофазной тяговой нагрузки вызывает несимметрию напряжений в фазах линии продольного электроснабжения и, следовательно, чётных гармоник на стороне выпрямленного напряжения [12]. Более того, реактор РЖФА-6500 включён в цепь возврата тягового тока последовательно с РБФА-У-6500/3250 за точкой присоединения апериодического конденсатора и 100 Гц резонансной цепочки, в связи с чем, его вклад в работу Г-образного фильтр-устройства заключается, в основном, в токоограничивающем действии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

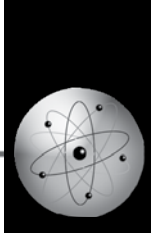
Предложенный метод оценки эксплуатационной эффективности РЖФА-6500 позволяет учесть в ходе выполнения расчётов КПД тяговой подстанции, влияние температуры окружающей среды, контактной и рельсовой цепи, того или иного типа электроподвижного состава на основании исполненного графика движения. Вместе с тем в расчётах использованы среднеинтегральные значения объёма перевозок и расхода электрической энергии на тягу поездов за аналогичные периоды наблюдений до и после внедрения реакторов нового типа в опытно-промышленную эксплуатацию. Результаты расчётов наглядно иллюстрируют сравнительные преимущества РЖФА-6500 при его использовании в цепи возврата тягового тока взамен реакторов старого типа, позволяющем повысить эффективность локомотивной работы почти на 10 %. Последнее говорит о том, что могут быть подняты участковые скорости движения, а также применены энергоэффективные режимы ведения локомотивов с составами установленной массы при входе на расчётный подъём и не только.

В целом реактор типа РЖФА-6500 представляет собой оригинальную и надёжную конструкцию, обладающую привлекательными параметрами энергоэффективности для его дальнейшего внедрения на сети железных дорог России в рамках реализации Энергетической стратегии холдинга «РЖД» на период до 2015 года и на перспективу до 2030 года [13], а также положений Федерального закона от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лобынцев В. В., Дураков Д. Н., Бадёр М. П., Устинов В. С. Опытнo-промышленная эксплуатация реакторов РЖФА-6500 в составе двухзвенного сглаживающего фильтрующего устройства // Электротехника. — 2018. — № 9. — С. 19–25.
2. Бадёр М. П., Лобынцев В. В., Дураков Д. Н., Динислов А. С., Дожина Г. В., Бурсук В. И. Разработка сглаживающего реактора фильтрующего устройства тяговой подстанции постоянного тока с замкнутым магнитным потоком // Электроника и электрооборудование транспорта. — 2017. — № 6. — С. 12–16.
3. Зевеке Г. В., Ионкин П. А., Нетушил А. В., Страхов С. В. Основы теории цепей: Учебник для вузов. — Изд. 4-е, перераб. — М.: «Энергия», 1975. — 752 с.
4. Правила защиты устройств проводной связи и проводного вещания от влияния тяговой сети электрических железных дорог переменного тока. — М.: Транспорт, 1973. — 96 с.
5. Правила защиты устройств проводной связи и проводного вещания от влияния тяговой сети электрических железных дорог постоянного тока. — М.: Транспорт, 1969. — 44 с.
6. Правила защиты устройств проводной связи, железнодорожной сигнализации и телемеханики от опасного и мешающего влияния линий электропередачи. Часть 1. Общие положения. Опасные влияния. — М.: Энергия, 1966. — 40 с.
7. Правила защиты устройств проводной связи, железнодорожной сигнализации и телемеханики от опасного и мешающего влияния линий электропередачи. Часть 2. Мешающие влияния. — М.: Связь, 1972. — 56 с.
8. Бадёр М. П., Загуменный М. Н., Лобынцев В. В., Устинов В. С. Верификационный трёхмерный гидродинамический (CFD) расчёт теплового состояния реактора РЖФА-6500 в эксплуатационных режимах при естественном воздушном конвективном теплосъёме // Электроника и электрооборудование транспорта. — 2019. — № 4. — С. 33–37.
9. Архив погоды в Арамиле. [Электронный ресурс]: www.meteoservice.ru/archive/aramil. Доступ 23.06.2020.
10. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ. [Электронный ресурс]: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978/. Доступ 23.06.2020.
11. Приказ Минпромэнерго РФ от 22.02.2007 г. № 49 «О Порядке расчёта значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии, применяемых для определения обязательств сторон в договорах об оказании услуг по передаче электрической энергии (договорах энергоснабжения)». [Электронный ресурс]: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-minpromenergo-rf-ot-22022007-n-49/>. Доступ 23.06.2020.
12. Бадёр М. П., Дураков Д. Н., Лобынцев В. В., Устинов В. С. Исследование работоспособности реактора РЖФА-6500 в составе Г-образного фильтр-устройства тяговой подстанции постоянного тока // Электротехника. — 2019. — № 8. — С. 60–67.
13. Энергетическая стратегия холдинга Российские железные дороги на период до 2015 года и на перспективу до 2030 года, утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от «15» декабря 2011 г. № 2718р. — 96 с. [Электронный ресурс]: http://www.rzd-expo.ru/doc/Energ_Strateg_new.pdf. Доступ 23.06.2020.





Study of Performance of RZhFA-6500 Smoothing Reactors



Vladimir V. LOBYNTSEV



Stanislav S. POLEV



Kirill G. MOGILEVSKY

Lobyntsev, Vladimir V., Russian University of Transport, Moscow, Russia.

Polev, Stanislav S., Kurchatov Complex of Nuclear Transport Power Technologies of National Research Center Kurchatov Institute, Moscow, Russia.

Mogilevsky, Kirill G., LLC Kinetic, Moscow, Russia.*

ABSTRACT

DC traction power supply systems have become widespread in several countries. Electricity consumption by traction power supply systems has pronounced seasonal and daily peaks. The peak nature of consumption leads to additional heating of live parts since time constants of transient thermal and electrophysical processes differ by several orders of magnitude, therefore, reducing ohmic resistance of electrical equipment, other things being equal, is an extremely important task.

Within the framework of solving the problem of increasing energy efficiency of equipment of DC traction substations, smoothing reactor filter devices with an armoured radial-cylindrical magnetic core with low ohmic resistance, named RZhFA-6500, were developed and manufactured.

In 2018, two blocks of RZhFA-6500 smoothing reactors were put into pilot operation at one of the most heavily loaded sections of DC electrified railways, providing traffic of trains weighing up to 9000 tons and traffic volume of about a hundred pairs of trains per day.

To determine comparative indicators of energy efficiency, data on consumption of electric power for traction of trains for the compared periods before and after introduction of

smoothing reactors of a new type were requested. The data received from JSC Russian Railways contained information on the traffic volume, type of rolling stock, and weight of the transported goods in accordance with the executed traffic schedule through section under consideration. The resulting set of data served as the basis for development of a multivariate methodology for assessing energy efficiency of reactors of a new type, as well as their contribution to efficiency of train operation over the considered comparative time interval. Since efficiency of power equipment also depends on the ambient temperature, the average integral parameter of average daily temperature was introduced into the calculation methodology, which, as it turned out, during processing initial data and construction of characteristic graphical dependencies, has a comparative difference of less than one percent for the same monitored periods.

Accurate quantitative accounting of the data on consumption of electrical energy provided for traction of trains, exchange of reactive energy with the supply network, volume of transportation allowed to obtain an objective comparison of contribution of smoothing reactors of a new type to increasing efficiency of train operation and reducing consumption of electrical energy for traction of trains.

Keywords: railway, energy efficiency indicators, traffic volume, smoothing reactors, filter device, active energy, reactive energy.

*Information about the authors:

Lobyntsev, Vladimir V. – Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Transport Electric Engineering of Russian University of Transport, Moscow, Russia, Lobyntsev_VV@nrcki.ru.

Polev, Stanislav S. – Leading Specialist of the Contract Follow-up Department of Kurchatov Complex of Nuclear Transport Power Technologies of National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia, stpolev@yandex.ru.

Mogilevsky, Kirill G. – Deputy General Director of LLC Kinetic, Moscow, Russia, mogilevsk@mail.ru.

Article received 27.04.2020, accepted 23.06.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 72.

The topicality of problems of energy efficiency and energy saving is due to the growth in consumption of electrical energy throughout the world. The gradual transfer of transport systems from hydrocarbon fuel to electricity requires both an increase in its generation volumes, as well as raise the requirements for equipment of its transmission and distribution systems in terms of reducing power losses.

The development of new transport corridors and increase in traffic volumes result in a significant increase in electricity consumption by traction power supply systems, which have pronounced seasonal and daily peaks. The peak nature of consumption leads to additional heating of live parts since time constants of transient thermal and electrophysical processes differ by several orders of magnitude, therefore, reducing ohmic resistance of electrical equipment, other things being equal, is an extremely important task.

Within the framework of solving the problem of increasing energy efficiency of equipment of DC traction substations, two sets of smoothing reactor filter devices with low ohmic resistance were developed and then manufactured [1].

Since DC traction power supply systems have become widespread not only in Russia, but also in several European countries, in Italy, Lithuania, Latvia, Estonia, as well as in Poland where 80 % of railways are DC electrified, this reactor can have a high degree of unification.

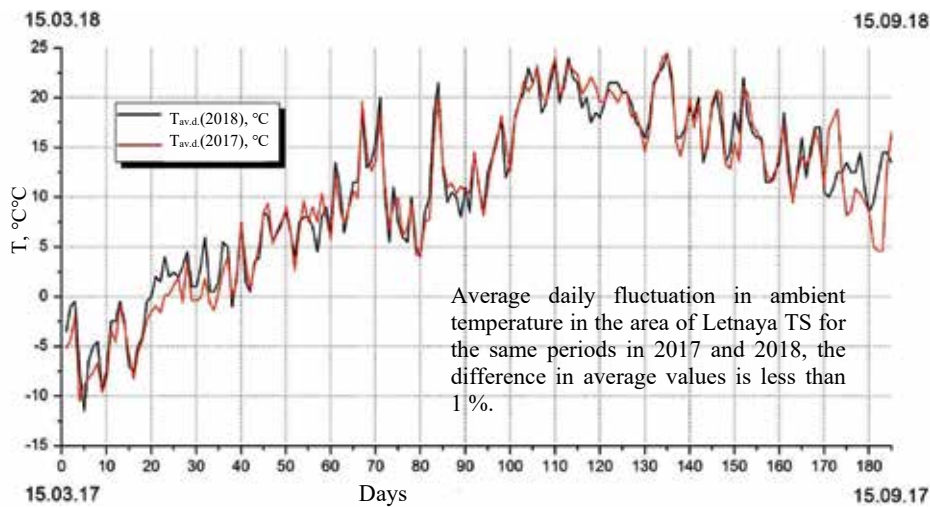
To conduct pilot operation of manufactured reactors, that received the abridged name RZhFA-6500, JSC Transenergo JSC, the branch of JSC Russian Railways, identified two DC sections with heavy-haul traffic of Sverdlovsk and West Siberian railways.

Letnaya traction substation of Sverdlovsk railway was selected as the site of introduction of the first set of two smoothing reactors with an armoured radial-cylindrical magnetic core [2]. This traction substation is located at a hill climbing section [where trains should move with the authorised speed], which determines a relatively higher level of load on overhead line feeders.

Two RZhFA-6500 units are connected in series and mounted in the second link of the filter device of West Siberian railway circuit without reconfiguring its resonant circuits [1].

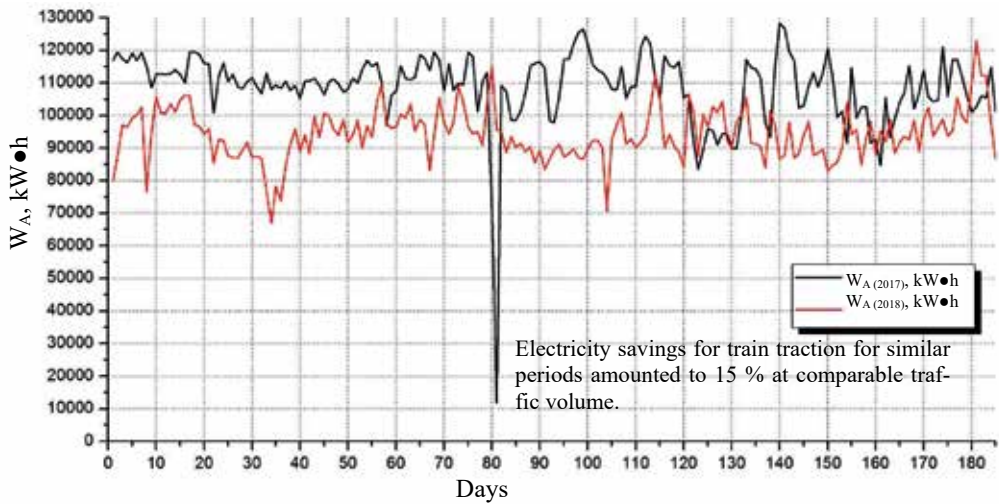
The level of psophometric voltage on the buses of DC switchgear of the traction substation in a wide range of traction current values did not exceed 15 V [3–7]. No increase in dangerous or interfering influences on devices of centralized blocking systems (CBS), communications and adjacent lines of longitudinal power supply of 6/10 kV was recorded, significant heating of the structural elements of RZhFA-6500 units during operation did not take place either [8].

Reactors of RZhFA-6500 type have proven themselves well, including during operation in the summer season, when the ambient temperature in the shade rises to +31°C [9].

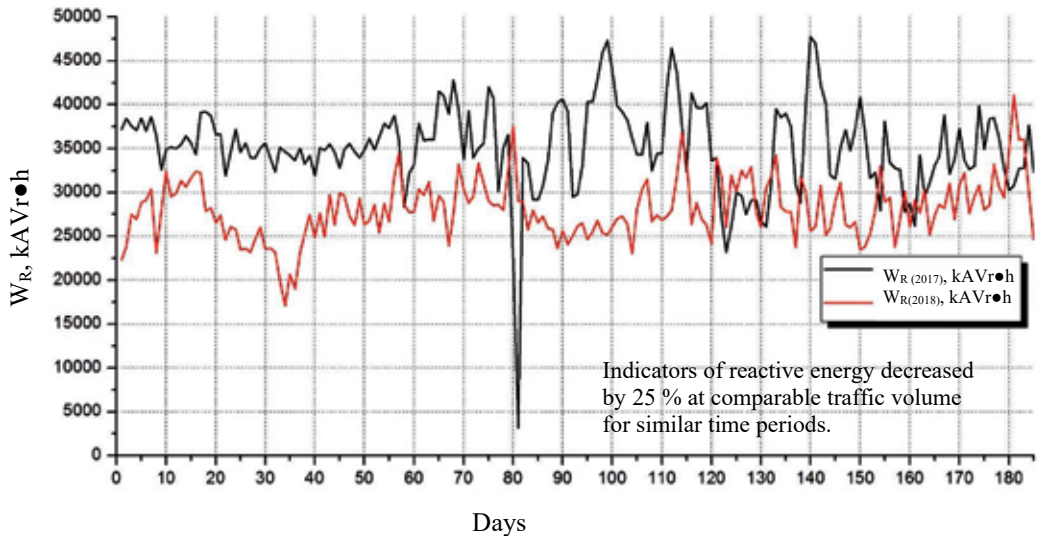


Pic. 1. Average daily temperature fluctuation during most distinctive monitored periods (compiled by the authors).





Pic. 2. Average daily consumption of active energy for traction of trains during distinctive monitored periods (compiled by the authors).



Pic. 3. Average daily indicators of reactive energy for the distinctive monitored periods (compiled by the authors).

The graph of fluctuations in the average daily temperature for the period of experimental field operation is shown in Pic. 1.

To assess energy efficiency of new reactors, the readings of active and reactive energy meters for the inputs of converter transformers of Letnaya TS for a six-month period (from 15.03.2018 to 15.09.2018) of the experimental field operation of RZhFA-6500 reactors and for the comparable period of the previous year (from 15.03.2017 to 15.09.2017) were officially requested at Shartashskaya power supply distance unit (EChE-232). Based on the results of processing the obtained data, graphs of daily

average values of active energy (Pic. 2), consumed for traction of trains, and of reactive energy which characterised energy exchange with the supply network (Pic. 3) were constructed.

Average values of active $W_{A\text{av}}$ and reactive $W_{R\text{av}}$ energy over the half-year period were determined using the following expressions:

$$W_{A\text{av}} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n W_{Ai}, \text{ kW} \cdot \text{h}, \quad (1)$$

$$W_{R\text{av}} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n W_{Ri}, \text{ kvar} \cdot \text{h}, \quad (2)$$

where W_{Ai} and W_{Ri} are average daily readings of active and reactive energy;

Table 1

Series of ERS	Months of 2017						
	03	04	05	06	07	08	09
2ES10	0	0	0	0	0	42	0
2ES6	44 854	38 510	41 825	40 586	33 436	42 834	39 869
VL10	12 531	12 240	9 644	7 323	8 197	10 841	10 020
VL10K	2 197	2 217	1 942	1 327	630	714	1 147
VL10U	187	203	0	0	0	0	44
VL10UK	0	0	0	0	0	0	0
VL11	3 289	2 934	3 315	3 000	2 317	2 305	1 975
VL11K	391	436	55	660	235	505	567
VL11M	1 329	1 333	485	707	442	576	279
Total	64 779	57 872	57 266	53 603	45 257	57 818	53 900
Total for the period under consideration 2017						390 495	
Series of ERS	Months of 2018						
	03	04	05	06	07	08	09
2ES10	69	0	58	0	286	264	69
2ES6	40 112	38 118	33 938	34 567	36 756	37 899	34 967
VL10	9 318	8 446	8 528	7 074	7 116	9 868	7 045
VL10K	1 425	2 312	1 659	1 235	2 135	2 565	1 971
VL10U	831	579	69	197	1 073	2 042	2 146
VL10UK	0	0	0	69	0	0	0
VL11	1 688	1 080	1 018	926	1 154	1 624	910
VL11K	553	650	339	400	619	891	612
VL11M	550	304	221	385	315	332	283
Total	54 546	51 489	45 830	44 852	49 455	55 485	48 003
Total for the period under consideration 2018						349 659	

n is the number of days in the period under consideration.

For adjustment of average values of active and reactive energy average daily temperature is calculated in a similar way for the periods under consideration:

$$T_{av} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n T_i, ^\circ\text{C}. \tag{3}$$

Using the obtained average temperatures for the same periods in 2017 and 2018 the temperature correction factor is calculated:

$$\eta_T = \frac{T_{av(2017)}}{T_{av(2018)}}. \tag{4}$$

The volume of operations performed by electric rolling stock (ERS) of various types for March–September 2017–2018 for Shar-tashskaya power supply distance along odd tracks is shown in Table 1, and along even tracks – in Table 2 (units of measurement are equal to 10 thousand t • km gross). Based on the total traffic volumes on both tracks for the same periods in 2017 and 2018, the correction factor was calculated:

$$\eta_V = \frac{\sum V_{2017}}{\sum V_{2018}}. \tag{5}$$

To assess energy efficiency of introduction of RZhA-6500 reactors the calculation is as follows:

$$\varepsilon = \frac{\eta_V W_{av(2017)}}{\eta_T W_{av(2018)}}. \tag{6}$$

Specific energy consumption for transportation of 1 ton gross per 1 km is:

$$w_0 = \frac{\sum W_A}{\sum V}. \tag{7}$$

If the operating efficiency of RBFA-U-6500/3250 is taken equal to 100 %, then with the known factors $\eta_T = 0,967$ and $\eta_V = 1,041$, as well as with the average daily power consumption for the monitored period $W_{A\ av(2017)} = 108781,91\ \text{kW} \cdot \text{h}$; $W_{A\ av(2018)} = 94332,68\ \text{kW} \cdot \text{h}$ and its reactive component $W_{R\ av(2017)} = 35168,18\ \text{kvar} \cdot \text{h}$, $W_{R\ av(2018)} = 28080,71\ \text{kvar} \cdot \text{h}$, efficiency of introduction of RZhFA-6500 reactors regarding active energy consumed for traction of trains will be $\varepsilon_A = 1,241$, for reactive energy it will be $\varepsilon_R = 1,348$.

If the specific energy consumption for carriage of 1 ton gross per 1 km for 2017 is taken as 100 %, then efficiency of locomotive work E for the same period monitored in 2018 with



Table 2

Series of ERS	Months of 2017						
	03	04	05	06	07	08	09
2ES10	0	0	0	0	0	0	0
2ES6	22 312	21 786	21 294	20 817	24 649	25 684	24 973
VL10	8 595	6 925	6 703	5 506	7 146	9 074	7 656
VL10K	1 581	1 265	1 399	655	348	621	1 236
VL10U	176	103	20	0	42	104	64
VL10UK	0	0	0	0	0	0	0
VL11	1 412	1 051	1 211	1 186	391	1 082	861
VL11K	111	80	63	97	87	140	122
VL11M	297	271	102	116	215	312	163
Total	34 485	31 481	30 792	28 376	32 878	37 018	35 075
Total for the period under consideration 2017						230 106	
Series of ERS	Months of 2018						
	03	04	05	06	07	08	09
2ES10	0	0	0	0	0	0	0
2ES6	20 587	22 723	23 326	22 990	23 723	26 790	24 339
VL10	8 001	6 918	8 228	6 794	8 152	8 693	7 962
VL10K	1 363	2 098	1 707	1 406	1 777	2 239	2 540
VL10U	412	606	199	148	988	1 625	2 157
VL10UK	0	0	0	29	0	0	0
VL11	1 033	556	284	487	693	884	717
VL11K	232	398	129	101	243	526	365
VL11M	132	108	106	185	122	249	354
Total	31 760	33 406	33 978	32 139	35 698	41 006	38 433
Total for the period under consideration 2018						246 421	

known factors η_T , η_V , total electricity consumption $\Sigma W_{A(2017)} = 20124653 \text{ kW} \cdot \text{h}$; $\Sigma W_{A(2018)} = 17451546 \text{ kW} \cdot \text{h}$ for train traction, and with figures calculated using the expression (7) $w_{0(2017)} = 3,243 \text{ W} \cdot \text{h/t} \cdot \text{gross km}$, $w_{0(2018)} = 2,928 \text{ W} \cdot \text{h/t} \cdot \text{gross km}$ will be: $E = 9,71 \%$.

The introduction of the new type of reactors took place also at the second facility which was the Uglerod traction substation of West Siberian railway, which feeds the section with intensive freight traffic of trains weighting up to 6000 tons and with a traffic volume of up to 120 pairs of trains per day. However, it is not possible to carry out an objective assessment of the parameters of energy saving [10] and the level of monetization of the energy efficiency of a two-unit RZhFA-6500 reactor according to the existing standards [11], since there is a docking station located in the immediate vicinity of Uglerod TS, which, while

supplying power to a powerful single-phase traction load, causes voltage asymmetry in the phases of the longitudinal power supply line and, consequently, asymmetry of even harmonics on the rectified voltage side [12]. Moreover, RZhFA-6500 reactor is included in the traction current return circuit in series with RBFA-U-6500/3250 reactor behind the connection point of the aperiodic capacitor and of 100 Hz resonant circuit, and therefore, its contribution to operation of the L-shaped filter device is mainly devoted to the current-limiting action.

Conclusion. The proposed method for assessing operational efficiency of RZhFA-6500 reactor makes it possible to consider impact of the ambient temperature, contact and track circuits, scheduled and then executed operation of one or another type of electric rolling stock during calculation of the efficiency of a traction

substation. At the same time, the calculations used the average integral values of the traffic volume and of consumption of electric energy for traction of trains for the comparable monitored periods before and after introduction of the new type of reactors into pilot operation. The calculation results clearly illustrate the comparative advantages of RZhFA-6500 reactor when it is used in the traction current return circuit instead of the old-type reactors, which makes it possible to increase the efficiency of locomotive work by almost 10 %. The latter suggests that sectional speeds can be raised, as well as energy-efficient modes of driving locomotives of trains of the standard mass at the entrance to the hill climbing sections and further on.

In general, the RZhFA-6500 reactor is an authentic and reliable design with attractive energy efficiency parameters for its further implementation on the Russian railway network as part of implementation of the Energy Strategy of JSC Russian Railways Holding company for the period up to 2015 and for the future until 2030 [13], as well as of the provisions of the Federal Law of 23.11.2009, No. 261-FZ on Energy Saving and Increasing Energy Efficiency.

REFERENCES

1. Lobyntsev, V. V., Durakov, D. N., Bader, M. P., Ustinov, V. S. Experimental field operation of RZhFA-6500 reactors as part of a two-link smoothing filter device [Opytno-promyshlennaya ekspluatatsiya reaktorov RZhFA-6500 v sostave dvukhzvennogo sglazhivayushchego filtrustroistva]. *Elektrotehnika*, 2018, Iss. 9, pp. 19–25.

2. Bader, M. P., Lobyntsev, V. V., Durakov, D. N., Dinisilov, A. S., Dozhina, G. V., Buruk, V. I. Development of a smoothing reactor for a filter device for a DC traction substation with a closed magnetic flux [Razrabotka sglazhivayushchego reaktora filtrustroistva tyagovoi podstantsii postoyannogo toka a zamknutym magnitnym potokom]. *Elektronika i elektrooborudovanie transporta*, 2017, Iss. 6, pp. 12–16.

3. Zeveke, G. V., Ionkin, P. A., Netushil, A. V., Strakhov, S. V. Fundamentals of circuit theory: Textbook for universities [Osnovy teorii tsepei: Uchebnik dlya vuzov]. 4th ed., rev. Moscow, Energia publ., 1975, 752 p.

4. Rules for protection of wire communication devices and wire broadcasting from the influence of the traction network of alternating current electric railways [Pravila zashchity ustroystv provodnoi svyazi i provodnogo veshchaniya ot vliyaniya tyagovoi seti elektricheskikh zheleznykh dorog peremennogo toka]. Moscow, Transport publ., 1973, 96 p.

5. Rules for protection of wire communication and wire broadcasting devices from the influence of the traction network of direct current electric railways [Pravila zashchity ustroystv provodnoi svyazi i provodnogo veshchaniya ot vliyaniya tyagovoi seti elektricheskikh zheleznykh dorog]. Moscow, Transport publ., 1969, 44 p.

6. Rules for protection of wire communication devices, railway signaling and telemechanics from the dangerous and interfering influence of power lines. Part 1. General provisions. Dangerous influences. [Pravila zashchity ustroystv provodnoi svyazi, zheleznodorozhnoi signalizatsii i telemekhaniki ot opasnogo i meshayushchego vliyaniya linii elektropredachi. Chast' 1. Obshchie polozheniya. Opasnie vliyaniya]. Moscow, Energia publ., 1966, 40 p.

7. Rules for protection of wire communication devices, railway signaling and telemechanics from the dangerous and interfering influence of power lines. Part 2. Interfering influences [Pravila zashchity ustroystv provodnoi svyazi, zheleznodorozhnoi signalizatsii i telemekhaniki ot opasnogo i meshchayushchego vliyaniya linii elektropredachi. Chast' 2. Meshayushchie vliyaniya]. Moscow, Svyaz' publ., 1972, 56 p.

8. Bader, M. P., Zagumenny, M. N., Lobyntsev, V. V., Ustinov, V. S. Verification three-dimensional hydrodynamic (CFD) calculation of the thermal state of RZhFA-6500 reactor in operating modes with natural air convective heat removal [Verifikatsionnyy trekhmernyy gidrodinamicheskyy (CFD) raschet teplovogo sostoyaniya reaktora RZhFA-6500 v ekspluatatsionnykh rezhimakh pri estestvennom vozdušnom konvektivnom teplos'eme]. *Elektronika i elektrooborudovanie transporta*, 2019, Iss. 4, pp. 33–37.

9. Weather archive in Aramil [Arkhiv pogody v Aramile]. [Electronic resource]: www.meteoservice.ru/archive/aramil. Last accessed 23.06.2020.

10. Federal Law «On Energy Saving and on Increasing Energy Efficiency and on Amending Certain Legislative Acts of the Russian Federation» dated 23.11.2009, No. 261-FZ [Federalnyy zakon «Ob energosberezhenii i o povyshenii energeticheskoi effektivnosti i o vnesenii izmenenii v otdelnie zakonodatelnie akty Rossiiskoi Federatsii» ot 23.11.2009 № 261-FZ]. [Electronic resource]: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978/. Last accessed 23.06.2020.

11. Order of the Ministry of Industry and Energy of the Russian Federation dated 22.02.2007 No. 49 «On the Procedure for calculating the values of the ratio of consumption of active and reactive power for individual power receivers (groups of power receivers) of consumers of electrical energy, used to determine the obligations of the parties in contracts for provision of services for transmission of electrical power energy (energy supply contracts)» [Prikaz Minpromenergo RF ot 22.02.2007 № 49 «O rascheta znachenii sootnosheniya potrebleniya aktivnoi i reaktivnoi moshchnosti dlya otdelnykh energoprimayushchikh ustroystv (grupp energoprimayushchikh ustroystv) potrebiteli elektricheskoi energii, primenyaemykh dlya opredeleniya obyazatelstv storon v dogovornyye ob okazaniya uslug po peredache elektricheskoi energii (dogovorakh energosnabzheniya)»]. [Electronic resource]: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-minpromenergo-rf-ot-22022007-n-49/>. Last accessed 23.06.2020.

12. Bader, M. P., Durakov, D. N., Lobyntsev, V. V., Ustinov, V. S. Investigation of performance of RZhFA-6500 reactor as part of the L-shaped filter device of a direct current traction substation [Issledovanie rabotosposobnosti reaktora RZhFA-6500 v sostave G-obraznogo filtrustroistva tyagovoi podstantsii postoyannogo toka]. *Elektrotehnika*, 2019, Iss. 8, pp. 60–67.

13. The energy strategy of the Russian Railways holding company for the period up to 2015 and for the long future up to 2030, approved by the order of JSC Russian Railways dated December 15, 2011 No. 2718r [Energeticheskaya strategiya kholdinga Rossiiskie zheleznie dorogi na period do 2015 goda i na pespektivu do 2030 goda, utverzhdena rasporyazheniem OAO «RZD» ot 15 dekabrya 2011 g. No. 2718r], 96 p. [Electronic resource]: http://www.rzd-expo.ru/doc/Energ_Strateg_new.pdf. Last accessed 23.06.2020.





Аспекты оснащения объектов транспорта системами для контроля маршрутов беспилотных летательных аппаратов



Швецова Светлана Валерьевна – Дальневосточный государственный университет путей сообщения (ДВГУПС), Хабаровск, Россия.

Светлана ШВЕЦОВА

В настоящее время остаётся актуальной проблема обеспечения безопасности полётов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) над территорией объектов транспортной инфраструктуры (ОТИ), прежде всего аэропортов.

Автором в одной из предыдущих работ вместе с соавтором был предложен метод повышения безопасности движения беспилотных летательных аппаратов и реализующая его система контроля маршрутов беспилотных летательных аппаратов (далее – СКМ), позволяющая обеспечить повышение безопасности движения БПЛА на объектах транспортной инфраструктуры за счёт ограничения зоны передвижения БПЛА строго в выделенном воздушном коридоре (ВВК). Разработка данной системы создаёт предпосылки для снятия существующих ограничений по применению беспилотных летательных аппаратов на объектах транспортной инфраструктуры.

Для практического внедрения предложенной системы актуальным является вопрос по методике размещения СКМ на объектах транспортной инфраструктуры. Данное условие можно обосновать тем, что СКМ, как правило, будут расположены в условиях плотной инфраструктурной застройки, включающей опасные техни-

ческие элементы ОТИ, столкновение БПЛА с которыми может привести к чрезвычайной ситуации (ЧС), в непосредственной близости к СКМ по транспортным путям/коридорам будет осуществляться движение воздушных/наземных транспортных средств (ТС), по пешеходным путям будут передвигаться сотрудники, пассажиры и посетители ОТИ.

Цель настоящего исследования – разработать методику размещения систем контроля маршрутов беспилотных летательных аппаратов на объектах транспортной инфраструктуры.

Проведённое с применением известных научных методов в том числе, базовой задачи маршрутизации, поставленной Данцигом и Рамсером, моделирования, анализа и синтеза исследование позволило разработать методику размещения систем контроля маршрутов беспилотных летательных аппаратов на объектах транспортной инфраструктуры. Практическое применение предложенной методики позволяет строить маршруты для движения БПЛА на ОТИ, формировать на ОТИ сеть выделенных воздушных коридоров для БПЛА, эксплуатируемых совместно с системой, определять оптимальное место размещения элементов СКМ на ОТИ.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, БПЛА, объект транспортной инфраструктуры, система контроля маршрутов, методика размещения.

*Информация об авторе:

Швецова Светлана Валерьевна – аспирант Дальневосточного государственного университета путей сообщения (ДВГУПС), Хабаровск, Россия, transport-safety@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 06.05.2020, актуализирована 24.08.2020, принята к публикации 28.08.2020.

For the English text of the article please see p. 91.

ВВЕДЕНИЕ

Беспилотные летательные аппараты являются одним из базовых элементов транспортной инфраструктуры следующего поколения, в основе которой будут лежать Интернет вещей (IoT) и искусственный интеллект. Но, в настоящий момент, применение БПЛА в транспортном секторе, включая современные логистические центры при крупных авиационных узлах (хабах), сдерживается законодательными запретами [1]. «Такие запреты на полёты БПЛА над территорией объектов транспорта приняты в большинстве стран мира» [1], включая Россию [1–3]. Направлены такие ограничения, в первую очередь, на обеспечение безопасности объектов транспортной инфраструктуры и эксплуатируемых на них транспортных средств (ТС), а также персонала, посетителей и пассажиров [1; 2].

На решение задач по обеспечению безопасности полётов БПЛА в настоящее время направлены усилия многих учёных как в России, так и за рубежом. Можно выделить два основных направления исследований. Первое — это правовое регулирование в сфере применения БПЛА [1; 4–6], второе — разработка организационных и технических решений направленных на решение задач безопасности в рассматриваемой области [7–20].

Так, автором в работе [21] вместе с соавтором была предложена разработка, направленная на контроль маршрутов БПЛА при их полётах над территорией объектов транспортной инфраструктуры (ОТИ), создающая предпосылки для снятия существующих ограничений по применению беспилотных летательных аппаратов на ОТИ, в том числе и аэропортах.

Необходимо отметить, что для практического применения вышеупомянутой разработки — системы контроля маршрутов (СКМ), актуальным является вопрос по методике размещения таких систем на объектах транспортной инфраструктуры. Данное условие можно обосновать тем, что системы контроля маршрутов, как правило, будут расположены в условиях плотной инфраструктурной застройки, включающей опасные технические элементы ОТИ, столкновение БПЛА с которыми может привести к ЧС [22]. В непосредственной

близости к СКМ по транспортным путям/коридорам будет осуществляться движение воздушных/наземных транспортных средств, по пешеходным путям будут передвигаться сотрудники, пассажиры и посетители ОТИ.

Цель настоящего исследования — разработать методику размещения систем контроля маршрутов беспилотных летательных аппаратов на объектах транспортной инфраструктуры, что, по мнению автора, является необходимым условием обеспечения безопасности при эксплуатации БПЛА на ОТИ.

МЕТОДИКА РАЗМЕЩЕНИЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ МАРШРУТОВ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА ОБЪЕКТАХ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Система контроля маршрутов беспилотных летательных аппаратов имеет следующие ограничения в применении:

- система применима в приложениях, предусматривающих движение БПЛА по определенному маршруту;
- система применима на наземных объектах транспортной инфраструктуры;
- система предназначена для работы с БПЛА вертикального взлёта и посадки, «вертолётного» типа.

Основные принципы, которыми необходимо руководствоваться при размещении систем контроля маршрутов на объектах транспортной инфраструктуры, заключаются в том, что БПЛА при движении не должны иметь возможности войти в соприкосновение с инфраструктурными элементами ОТИ, другими транспортными средствами, а также людьми. Встречные потоки движущихся БПЛА должны быть разделены не менее чем по двум не соприкасающимся выделенным воздушным коридорам.

Главное требование к месту размещения элементов системы контроля маршрута беспилотных летательных аппаратов — наличие на выбранной территории бесперебойного сигнала GSM (или другого применяемого сигнала), обеспечивающего связь оператор—БПЛА.

Алгоритм размещения СКМ на ОТИ, можно разбить на четыре этапа, показанных на рис. 1.



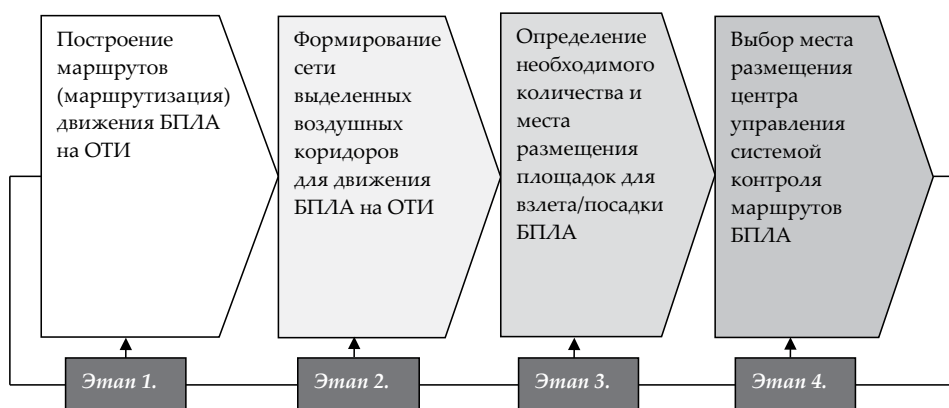


Рис. 1. Алгоритм размещения СКМ на ОТИ [подготовлен автором].

Для реализации этапов размещения СКМ (рис. 1) необходима цифровая карта (модель) ОТИ, на которой будут отражены: здания и сооружения, наземные и надземные коммуникации, пути (коридоры) движения ТС, пешеходные пути и другие структурные элементы ОТИ. Опасные элементы рассматриваемого объекта транспортной инфраструктуры, столкновение БПЛА с которыми может привести к ЧС, должны быть выделены на карте (модели) ОТИ особо.

Этап первый – построение маршрутов (маршрутизация) движения БПЛА на ОТИ.

На данном этапе формулируются цели применения БПЛА, на основе которых определяют исходные, промежуточные и конечные точки маршрутов¹, их количество и координаты.

Исходным и конечным точкам маршрута можно дать обозначение – базовые точки маршрута.

Маршрут движения БПЛА может быть одноточечным, когда точка взлёта и посадки находится в одном месте. Возможны варианты, когда маршрут движения БПЛА объединяет две точки, такой маршрут можно обозначить как двухточечный, а с большим количеством точек взлёта/посадки маршрут будет являться многоточечным.

Точки взлёта/посадки наносятся на цифровую карту (модель) ОТИ, обозначен-

ные базовых и промежуточных точек должно отличаться. По данным точкам выполняется маршрутизация движения БПЛА на ОТИ.

Основной принцип прокладки маршрутов движения БПЛА на ОТИ – минимальная длина маршрута, применение данного принципа позволяет максимально эффективно использовать ограниченный заряд батарей БПЛА.

Исходя из данного принципа, целесообразно использовать для маршрутизации движения БПЛА на ОТИ базовую задачу маршрутизации (VRP – Vehicle Routing Problem), поставленную Данцигом и Рамсером [23], а также задачи типа почтальонов [24–26]. При выборе маршрута оптимальным маршрутом будет тот, который имеет минимальную протяжённость, «такой маршрут называется «эйлеровым маршрутом», а содержащий его граф – «эйлеровым графом» [24]. При этом «требуется найти в графе $H = (V, U)$, цикл, включающий все вершины из N и все ребра из R и имеющий минимальную сумму весов входящих в него рёбер. Очевидно, если этот цикл простой, то он является оптимальным кольцевым маршрутом» [24] (рис. 2).

Принцип минимальной длины маршрута не применяется при условии, что маршрут движения задан целью (целями) применения БПЛА, например, при его движении вдоль периметра ОТИ для целей мониторинга безопасности объекта. В таком случае маршрут прокладывается, исходя из целей применения БПЛА, в рас-

¹ Точки маршрутов:

– исходные точки маршрутов – место взлёта БПЛА;
– промежуточные точки маршрутов – место промежуточной посадки/взлёта БПЛА;
– конечные точки маршрутов – место посадки БПЛА.

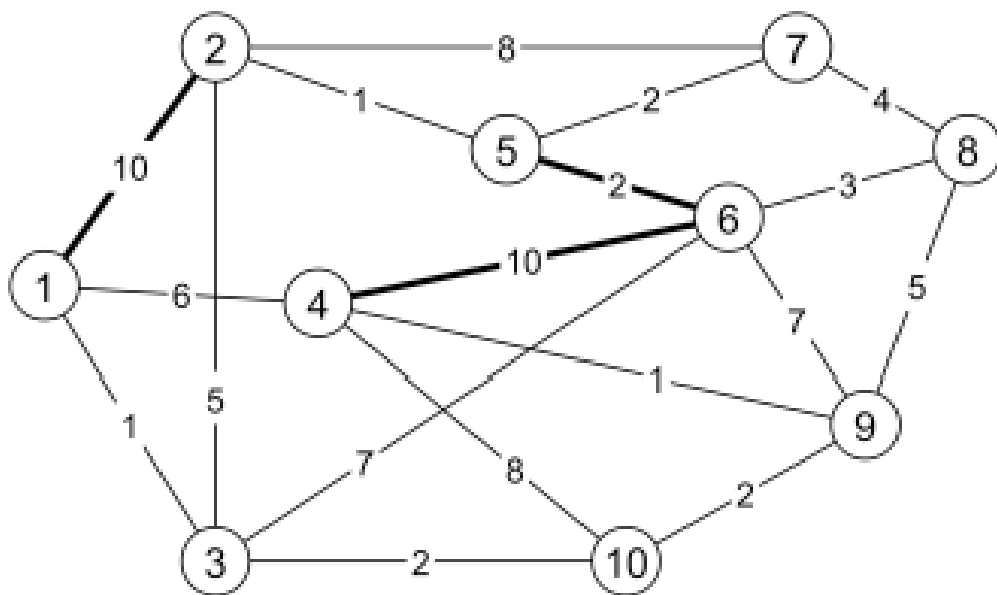


Рис. 2. Транспортная сеть, где $N = \{3, 9\}$,
 $R = \{\{1, 2\}, \{6, 5\}, \{4, 6\}\}$, $V(R) = \{1, 2, 4, 5, 6\}$; $(1, 2, 5, 6, 4, 9, 10, 3, 1)$,
является оптимальным кольцевым маршрутом [24].

смотренном случае — вдоль периметра ОТИ.

Сформированная сеть маршрутов БПЛА заносится в цифровую карту (модель) ОТИ.

Этап второй — формирование сети выделенных воздушных коридоров для движения БПЛА.

Формирование сети выделенных воздушных коридоров выполняется на основе сформированных в цифровой карте ОТИ сети маршрутов. Воздушный коридор выделяется в соответствии с проложенным маршрутом, при этом его траектория корректируется с учётом расположенных на пути прохождения воздушного коридора зданий и сооружений, путей/коридоров движения других ТС, коммуникаций, пешеходных путей и других оказывающих влияние факторов. Одним из таких факторов, влияющих на корректировку траектории ВВК, является необходимость учёта технологических условий монтажа опор-кронштейнов, на которые устанавливается монорельс.

Корректировка траектории выделенного воздушного коридора относительно проложенного маршрута выполняется, исходя из принципа минимального увеличения протяжённости коридора, основанного на ограниченном заряде батарей БПЛА.

Началом ВВК будет являться точка взлёта БПЛА в начале маршрута, окончанием ВВК будет являться точка посадки БПЛА в конце маршрута.

Осью ВВК будет являться траектория движения наземной подвижной платформы.

Окружность ВВК (C_{AP}) можно рассчитать по формуле:

$$C_{AP} = (C_L + 1/2 M_S + D_U) \cdot 2,$$

где C_L — длина удерживающего троса;

M_S — длина подвижной платформы;

D_U — длина БПЛА.

Этап третий — определение необходимого количества и места размещения площадок предназначенных для взлета/посадки БПЛА (далее — посадочные площадки (ПП)).

Посадочные площадки размещаются как на базовых, так и в промежуточных точках маршрута движения БПЛА, также дополнительно могут быть предусмотрены ПП для целей технологических операций с БПЛА, таких как смена батарей, бортового оборудования и подобных операций, в других местах маршрута БПЛА. В каждой базовой либо промежуточной точке маршрута может быть предусмотрено несколько ПП.

Размер и форма посадочной площадки определяются с учётом габаритов применяемых БПЛА, состава планируемых



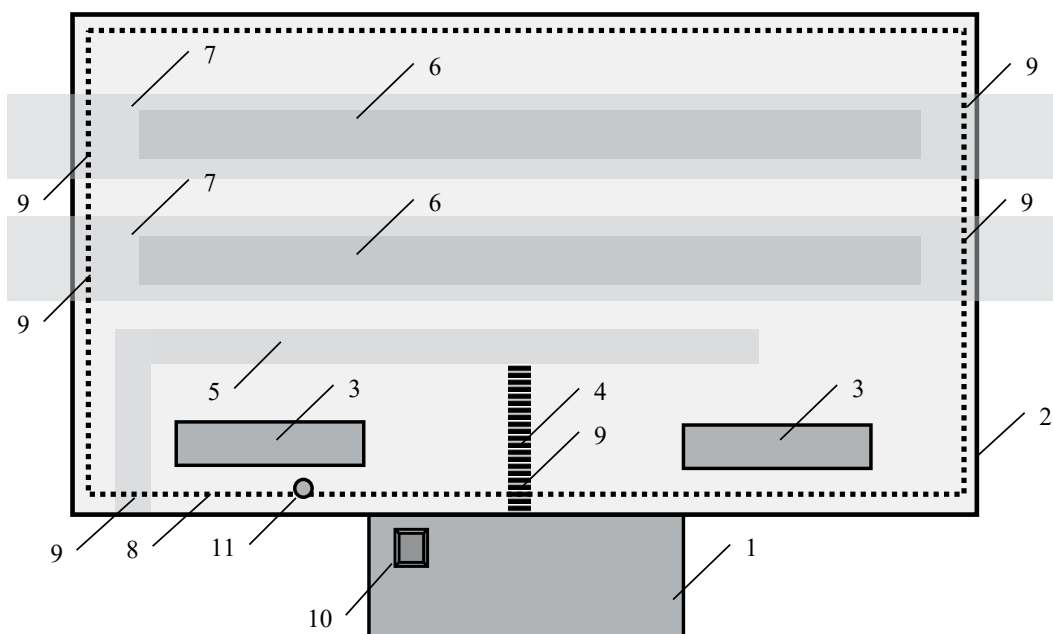


Рис. 3. Схема размещения системы контроля маршрутов БПЛА, на объекте транспортной инфраструктуры – аэропорт [составлено автором].

технологических операций с БПЛА, а также особенностей прилегающей территории.

К местам размещения ПП при необходимости предусматриваются ответвления от монорельса, что позволяет не блокировать движение по монорельсу других БПЛА, а также размещать посадочные площадки не только рядом с основным монорельсом, но также на необходимом удалении, что расширяет возможности при выборе наиболее удобных мест расположения площадок и других элементов системы.

Общее количество посадочных площадок не ограничивается и зависит от условий эксплуатации СКМ.

Этап четвёртый – включает выбор места размещения центра управления системой контроля маршрутов БПЛА (ЦУС).

Центр управления системой контроля маршрутов БПЛА включает операторов, дистанционно управляющих движением БПЛА, и программно-аппаратные комплексы, позволяющие операторам осуществлять дистанционное управление БПЛА. Кроме того, в составе центра управления системой могут быть предусмотрены другое дополнительное оборудование и сотрудники с целью повышения надёжности и производительности СКМ.

Главное требование к месту размещения ЦУС – наличие бесперебойного сигнала GSM (или другого применяемого сигнала), обеспечивающего связь оператор–БПЛА.

ЦУС может быть как единым, так и распределённым, состоящим из нескольких территориально распределённых рабочих мест операторов, управляющих движением БПЛА. Оптимальным является формирование единого ЦУС, в котором операторы находятся в непосредственном контакте друг с другом, организованного по типу центров управления воздушным движением.

Оптимальным местом размещения центра управления системой является то, с которого операторы могут наблюдать за движением БПЛА не только аппаратно, но и визуально.

Дополнительными факторами, учитываемыми при выборе места размещения ЦУС, являются:

- наличие подъездных автомобильных путей. Наличие таких путей позволит операторам и техперсоналу системы оперативно выезжать в распределённые точки СКМ для выполнения различных технологических операций, в том числе ремонтных;
- наличие в непосредственной близости площадки для взлёта/посадки БПЛА, экс-

платируемых совместно с СКМ. Наличие такой площадки позволит операторам и техперсоналу системы проводить необходимые технологические операции с БПЛА непосредственно рядом с центром управления;

- наличие резервной линии (источника) энергоснабжения. Наличие резервного источника энергоснабжения позволяет повысить надёжность функционирования СКМ;

- наличие охраны на входах в здание (помещение), в котором предполагается разместить ЦУС (центр управления СКМ). Наличие охраны позволяет повысить защищённость центра управления СКМ от несанкционированного вмешательства и воздействий;

- наличие на входах в помещение, в котором предполагается разместить ЦУС, системы контроля и управления доступом (СКУД). Наличие СКУД повысит защищённость центра управления СКМ от несанкционированного вмешательства и воздействий.

В конечном счёте, по данным, полученным на всех четырёх этапах, определяется место размещения СКМ на ОТИ. Место размещения элементов СКМ отражается в цифровой карте (модели) объекта транспортной инфраструктуры. Полученная схема размещения СКМ на ОТИ позволяет формировать техническое задание на создание системы контроля маршрутов БПЛА на рассмотренном объекте транспортной инфраструктуры.

Автором проведена апробация разработанной методики на универсальной модели аэропорта (рис. 3), содержащей следующие элементы: здание аэровокзала 1, периметр аэродрома 2, технические здания 3, пути для движения пешеходов 4, пути для движения наземных транспортных средств 5, взлётные полосы 6, воздушные коридоры, предназначенные для движения воздушных судов 7.

В предложенной модели аэропорта было выполнено размещение СКМ, в которой маршрут движения БПЛА задан целью применения БПЛА: в рассматриваемом примере — мониторингом безопасности вдоль периметра аэродрома 2. Исходя из поставленных целей применения, был построен маршрут движения беспилотных

летательных аппаратов, на основе которого проложен ВВК 8 для передвижения БПЛА, в рассматриваемом примере — вдоль периметра. На полученной схеме размещения СКМ (рис. 3) определены места пересечения 9 ВВК с воздушными 7 и наземными 5 коридорами/путями для движения ТС, а также пешеходными путями 4. С учётом факторов, влияющих на выбор места размещения ЦУС, определено оптимальное место размещения центра управления системой 10, позволяющее вести наблюдение за движением БПЛА не только аппаратно, но и визуально, а также место размещения базовой точки маршрута 11 содержащей ПП.

В местах пересечения ВВК с воздушными коридорами 7 предусмотрено прохождение ВВК под воздушными коридорами 7. В местах пересечения ВВК с наземными коридорами/путями для движения ТС 5 и пешеходными путями 4 предусмотрено прохождение ВВК над коридорами/путями 5 и 4.

ВЫВОДЫ

В настоящем исследовании разработана методика размещения систем контроля маршрутов беспилотных летательных аппаратов на объектах транспортной инфраструктуры. В методике рассматриваются практические аспекты оснащения объектов транспорта системами для контроля маршрутов БПЛА. Внедрение систем, позволяющих контролировать маршруты полётов беспилотных летательных аппаратов, является необходимым условием обеспечения безопасности и создаёт необходимые условия для снятия существующих ограничений по применению беспилотных летательных аппаратов на объектах транспортной инфраструктуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Clothie, R. A., Williams, B. P., Fulton, N. L. Structuring the safety case for unmanned aircraft system operations in non-segregated airspace. Safety Science, 2015, Vol. 79, pp. 213–228. [Электронный ресурс]: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.06.007>. Доступ 17.02.2020.

2. Unmanned Aircraft Systems Advisory Group (UAS-AG). Официальный сайт ICAO. [Электронный ресурс]: [https://www.icao.int/safety/UA/Pages/Unmanned-Aircraft-Systems-Advisory-Group-\(UAS-AG\).aspx](https://www.icao.int/safety/UA/Pages/Unmanned-Aircraft-Systems-Advisory-Group-(UAS-AG).aspx). Доступ 17.02.2020.

3. Приказ Минтранса РФ от 09.03.2016 № 48 «Об установлении запретных зон». Официальный сайт Министер-



ства юстиции РФ. [Электронный ресурс]: <https://minjust.consultant.ru/documents/19230>. Доступ 01.03.2020.

4. Altawy, R., Youssef, A. M. Security, Privacy, and Safety Aspects of Civilian Drones: A Survey. *ACM Transactions on Cyber-Physical Systems*, 2016, Vol. 1, Iss. 2, Article No. 7, pp. 1–25. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/profile/Riham_Altawy/publication/313329204_Security_Privacy_and_Safety_Aspects_of_Civilian_Drones_A_Survey/links/5a4adb22458515f6b05b47e4/Security-Privacy-and-Safety-Aspects-of-Civilian-Drones-A-Survey.pdf. Доступ 01.03.2020. DOI: 10.1145/3001836.

5. Huttunen, M. Drone Operations in the Specific Category: A Unique Approach to Aviation Safety. *The Aviation & Space Journal*, 2019, Vol. 18, No. 2, pp. 2–21. [Электронный ресурс]: <http://www.aviationspacejournal.com/wp-content/uploads/2019/08/The-Aviation-Space-Journal-Year-XVIII-April-July-2019-1.pdf>. Доступ 01.03.2020.

6. Pérez-Castán, J. A. [et al]. Identification, Categorisation and Gaps of Safety Indicators for U-Space. *Energies*, 2020, Vol. 13 (3), pp. 1–17 (608). [Электронный ресурс]: DOI: <https://doi.org/10.3390/en13030608>. Доступ 01.03.2020.

7. SESAR2020. Официальный сайт Eurocontrol [Электронный ресурс]: <https://www.eurocontrol.int/sesar2020>. Доступ 10.03.2020.

8. Michel, A. Counter-Drone Systems. 1st ed.; Center for the Study of the Drone at Bard College, New York, NY, USA, 2018. [Электронный ресурс]: <https://dronecenter.bard.edu/files/2018/02/CSD-Counter-Drone-Systems-Report.pdf>. Доступ 15.02.2020.

9. Wild, G., Murray, J., Baxter, G. Exploring civil drone accidents and incidents to help prevent potential air disasters. *Aerospace*, Vol. 3, 2016, Iss. 3, pp. 22–32. [Электронный ресурс]: DOI: <https://doi.org/10.3390/aerospace3030022>. Доступ 01.03.2020.

10. Boeing's Compact Laser Weapons System: Sets Up in Minutes, Directs Energy in Seconds. [Электронный ресурс]: <https://www.youtube.com/watch?v=Ijp3-zjTp0>. Доступ 17.03.2020.

11. Unmanned Aircraft System Traffic Management. Офиц. сайт National Aeronautics and Space Administration (NASA). [Электронный ресурс]: <https://utm.arc.nasa.gov/index.shtml>. Доступ 17.03.2020.

12. Civil drones (Unmanned aircraft). Официальный сайт European Aviation Safety Agency. [Электронный ресурс]: <https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/civil-drones-rpas#group-easa-related-content>. Доступ 10.02.2020.

13. NTU to develop traffic management solutions so drones can fly safely in Singapore's airspace. Официальный сайт Nanyang Technological University. [Электронный ресурс]: http://news.ntu.edu.sg/news/Pages/NR2016_Dec28.aspx&Guid=20327ba4-b01-4a38-a86f-47e64d89ba0d&Category=All. Доступ 10.03.2020.

14. Pérez-Castán, J. A. [et al]. GRPAS conflict-risk assessment in non-segregated airspace. *Safety Science*, Vol. 111, 2019, pp. 7–16. [Электронный ресурс]: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.08.018>. Доступ 10.03.2020.

15. Lykou, G., Moustakas, D., Gritzalis, D. Defending Airports from UAS: A Survey on Cyber-Attacks and Counter-Drone Sensing Technologies. *Sensors*, Vol. 20, 2020, art. N. 3537. [Электронный ресурс]: DOI: <https://doi.org/10.3390/s20123537>. Доступ 10.08.2020.

16. Dietrich, B., Iff, S., Profelt, J. [et al]. Development of a local air surveillance system for security Purposes: Design and Core Characteristics. *European Journal for*

Security Research, 2017, Vol. 2 (2), pp. 119–129. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/312551987_Development_of_a_Local_Air_Surveillance_System_for_Security_Purposes_Design_and_Core_Characteristics/download. Доступ 10.03.2020.

17. Fioranelli, F., Ritchie, M., Griffiths, H., Borrión, H. Classification of Loaded/Unloaded Micro-Drones Using Multistatic Radar. *Electronics Letters*, 2015, Vol. 51, pp. 1813–1815. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/profile/Francesco_Fioranelli/publication/282334467_Classification_of_LoadedUnloaded_Micro-Drones_Using_Multistatic_Radar/links/561e48f808aecdac6b5f63/Classification-of-Loaded-Unloaded-Micro-Drones-Using-Multistatic-Radar.pdf. Доступ 10.03.2020. DOI: 10.1049/el.2015.3038.

18. Xiufang Shi, Chaoqun Yang, Weige Xie, Chao Liang, Zhiguo Shi, Jiming Chen. Low-Complexity Portable Passive Drone Surveillance via SDR-Based Signal Processing. *IEEE Communications Magazine*, 2018, Vol. 56, No. 4, pp. 112–118. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/profile/Samith_Abeywickrama/publication/324511855_Low-Complexity_Portable_Passive_Drone_Surveillance_via_SDR-Based_Signal_Processing/links/5d3b1b1c4585153e59249c1a/Low-Complexity-Portable-Passive-Drone-Surveillance-via-SDR-Based-Signal-Processing.pdf. Доступ 10.03.2020. DOI: 10.1109/MCOM.2018.1700424.

19. Ritchie, M., Fioranelli, F., Griffiths, H., Torvik, B. Micro-drone ricks analysis. *IEEE Radar Conference, Oct 2015*, pp. 452–456. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/profile/Francesco_Fioranelli/publication/285164289_Micro-drone_RCS_analysis/links/5756806b08ae155a87b9d55a/Micro-drone-RCS-analysis.pdf. Доступ 10.03.2020. DOI: 10.1109/RadarConf.2015.7411926.

20. Shi, Xiufang; Chaoqun, Yang; Weige, Xie; Chao, Liang; Zhiguo, Shi; Jiming, Chen. Anti-Drone System with Multiple Surveillance Technologies: Architecture, Implementation, and Challenges. *IEEE Communications Magazine*, 2018, Vol. 56 (4), pp. 68–74. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/profile/Xiufang_Shi/publication/324514116_Anti-Drone_System_with_Multiple_Surveillance_Technologies_Architecture_Implementation_and_Challenges/links/5c64f8fd92851c48a9d26369/Anti-Drone-System-with-Multiple-Surveillance-Technologies-Architecture-Implementation-and-Challenges.pdf. Last accessed 10.03.2020. DOI: 10.1109/MCOM.2018.1700430. Доступ 10.08.2020.

21. Швецова С. В., Швецов А. В. Обеспечение безопасности при эксплуатации беспилотных летательных аппаратов на объектах транспортной инфраструктуры // *Мир транспорта*. – 2020. – Т. 18. – № 3. – С. 174–188.

22. Швецова С. В., Швецов А. В. Анализ безопасности при перевозке грузов беспилотными летательными аппаратами // *Мир транспорта*. – 2019. – Т. 17. – № 5. – С. 286–297.

23. Dantzig, G. B., Ramser, J. H. The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, Vol. 6, No. 1 (Oct. 1959), pp. 80–91.

24. Морозов А. В. Математические модели задач построения замкнутых маршрутов на транспортной сети // *Штучный интеллект*. – 2015. – № 1–2. – С. 157–169.

25. Пападимитриу Х., Стайглиц К., Алексеев В. Б. Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность: Пер. с англ. / М.: Мир, 1985. – 511 с.

26. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах: Пер. с англ. / М.: Мир, 1981. – 328 с. ●



Aspects of Equipping Transport Facilities with Systems for Controlling Routes of Unmanned Aerial Vehicles



Shvetsova, Svetlana V., Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, Russia.*

Svetlana V. SHVETSOVA

ABSTRACT

Currently, the problem of ensuring safety of flights of unmanned aerial vehicles (UAVs) over the territory of transport infrastructure facilities (TIF), primarily airports, remains topical.

In one of the previous works, the author together with the co-author proposed a method for increasing safety of movement of unmanned aerial vehicles and the system for controlling the routes of unmanned aerial vehicles (hereinafter – route control system, RCS) that implements it, which makes it possible to improve safety and security of UAV traffic at transport infrastructure facilities by limiting UAV traffic area strictly to a dedicated air corridor (DAC). The development of this system creates the prerequisites for removing the existing restrictions on the use of unmanned aerial vehicles at transport infrastructure facilities.

For practical implementation of the proposed system, it is relevant to develop a method of placing RCS at transport infrastructure facilities. This condition can be justified by the fact that RCS, as a rule, will be located under conditions of dense

infrastructural development, including dangerous technical elements of technical equipment, a collision of a UAV with which can lead to an emergency situation (ES); besides, the movement of air/ground vehicles will be carried out in the immediate vicinity of RCS along transport routes/corridors, and employees, passengers and visitors of TIF will move along the pedestrian paths.

The objective of this study – to develop a methodology for placing systems controlling routes of unmanned aerial vehicles at transport infrastructure facilities.

The study conducted with well-known scientific methods, including the basic routing problem posed by Dantzig and Ramser, modelling, analysis, and synthesis, made it possible to develop a method for placing RCS for unmanned aerial vehicles at transport infrastructure facilities. The practical application of the proposed methodology makes it possible to build routes for movement of UAV at TIF, to form a network of dedicated air corridors for UAV at TIF operated in relationship with the system, determine the optimal location of the RCS elements at TIF.

Keywords: unmanned aerial vehicle, UAV, transport infrastructure facility, route control system, placement technique.

*Information about the author:

Shvetsova, Svetlana V. – Ph.D. student of Far Eastern State Transport University (FESTU), Khabarovsk, Russia, transport-safety@mail.ru.

Article received 06.05.2020, revised 24.08.2020, accepted 28.08.2020.

For the original Russian text please see p. 84.

Background.

Unmanned aerial vehicles (UAVs) constitute a basic element of the next generation transport infrastructure, which will be based on the Internet of Things (IoT) and artificial intelligence. But now, the use of UAVs in the transport sector, including modern logistics centres at large aviation hubs, is restrained by legislative prohibitions [1]. «Such bans on UAVs' flights over the territory of transport facilities are adopted in most countries of the world» [1], including Russia [1–3]. Such restrictions are aimed primarily at ensuring safety and security of transport infrastructure facilities and vehicles operated at them, as well as personnel, visitors, and passengers [1; 2].

At present, the efforts of many researchers, both in Russia and abroad, are aimed at solving problems of ensuring the safety of UAVs' flights. There are two main areas of research. The first is legal regulation in the field of the use of UAVs [1; 4–6], the second is development of organizational and technical solutions aimed at solving security problems in the area under consideration [7–20].

So, the author in [21] proposed together with the co-author a development aimed at controlling the routes of UAV during their flights over the territory of transport infrastructure facilities (TIF, or objects of transport infrastructure: OTI), creating the preconditions for removing the existing restrictions on the use of unmanned aerial vehicles at TIF, including airports.

It should be noted that for practical application of the above development, which is route control system (RCS), the issue of the method of placing such systems at transport infrastructure facilities is quite relevant. This precondition can be justified by the fact that

route control systems, as a rule, will be located under the conditions of dense infrastructure development, including hazardous technical elements of technical equipment, a collision of a UAV with which can lead to an emergency [22]. Air/ground vehicles will move along transport routes/corridors in the immediate vicinity of RCS, while employees, passengers, and visitors of TIF will move along the pedestrian paths.

The *objective* of this study is to develop a methodology for placing systems controlling the routes of unmanned aerial vehicles at transport infrastructure facilities, which, in the author's opinion, is a necessary condition for ensuring safety and security during the operation of UAVs at TIF.

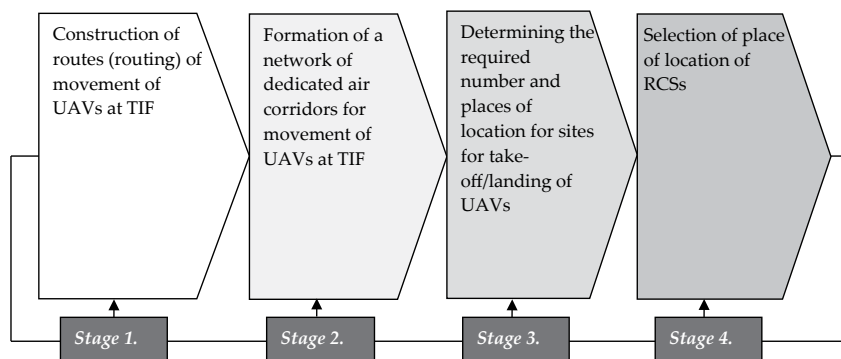
Methodology for placing UAVs' RCS at transport infrastructure facilities

The unmanned aerial vehicle route control system has the following application restrictions:

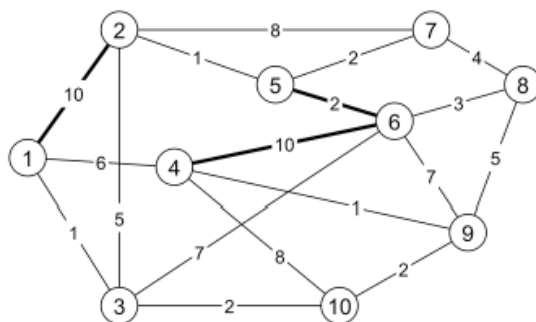
- The system is applicable in applications providing for movement of UAVs along a certain route.
- The system is applicable at ground transport infrastructure facilities.
- The system is designed to work with UAV of vertical take-off and landing, of «helicopter» type.

The basic principles that must be followed when placing route control systems at transport infrastructure facilities are that UAV, while moving, should not be able to encounter the infrastructure elements of TIF, other vehicles, and people. Counter flows of moving UAVs must be separated along at least two non-contiguous dedicated air corridors.

The main requirement for location of the elements of the route control system for



Pic. 1. Algorithm for placing RCS at TIF [compiled by the author].



Pic. 2. Transport network, where $N = \{3, 9\}$, $R = \{\{1, 2\}, \{6, 5\}, \{4, 6\}\}$, $V(R) = \{1, 2, 4, 5, 6\}$; $(1, 2, 5, 6, 4, 9, 10, 3, 1)$ is optimal circular route [24].

unmanned aerial vehicles is the presence in the selected area of an uninterrupted GSM signal (or of another applied communication signal) that provides operator to UAV communications.

The algorithm for placing the RCSs at TIF can be divided into four stages shown in Pic. 1.

To implement the phases of RCS placement (Pic. 1), a digital map (model) of TIF is required, which will reflect: buildings and structures, ground and overhead communications, paths (corridors) of vehicle movement, pedestrian paths, and other structural elements of TIF. Dangerous elements of the elements of transport infrastructure, a collision of a UAV with which can lead to an emergency, should be highlighted on the map (model) of TIF.

Stage 1: construction of routes (routing) of movement of UAV at TIF

At this stage, the goals of using UAV are formulated, based on which initial, intermediate, and final points of the routes¹, their number and coordinates are identified and determined.

The starting and ending points of the route can be designated as *base* points of the route.

UAV route can be *single-point* route when take-off and landing point is located in the same place. Variants are possible when UAV route combines two points, such a route can be designated as a *two-point* route, and a route with numerous take-off/landing points will be *multi-point* route.

Take-off/landing points are plotted on the digital map (model) of TIF, the designation of base and intermediate points should be

¹ Points of the routes:

- initial points of the routes – place of UAVs' take-off;
- intermediate points of the routes – place of intermediate landing/take-off of UAVs;
- final points of the routes – place of UAVs' landing.

different. These points are used to route the movement of UAV at TIF.

The basic principle of laying routes for UAV at TIF is the *minimum route length*, the application of this principle allows the most efficient use of the limited battery charge of UAV.

Based on this principle, it is advisable to use the solution of basic routing problem (VRP – Vehicle Routing Problem) posed, e.g., by Dantzig and Ramser [23], as well as of the problems such as Chinese postman problem [24–26], to route UAV movement to TIF. When choosing a route, the optimal route will be the one that has the minimum length, «such a route is called an «Euler route», and the graph containing it is called an «Euler graph» [24]. Moreover, «it is required to find in the graph $H = (V, U)$, a cycle that includes all vertices from N and all edges from R and has the minimum sum of weights of edges included in it. Obviously, if this cycle is simple, then it is the optimal circular route» [24] (Pic. 2).

The principle of the *minimum route length* does not apply, provided that the route is set with the purpose (purposes) of using UAV, for example, when it moves along the perimeter of TIF for the purpose of monitoring security of the facility. In this case, the route is laid based on the purposes of using UAV, in the case under consideration it is designed along the perimeter of TIF.

The formed network of UAV routes is entered into the digital map (model) of TIF.

Stage 2: formation of a network of dedicated air corridors for movement of UAV

The formation of a network of dedicated air corridors is carried out based on the routes formed in the digital map of TIF. The air

corridor is allocated in accordance with the planned route, while its trajectory is adjusted considering the buildings and structures located on the path of the air corridor, the paths/corridors of other vehicles, communications, pedestrian paths, and other influencing factors. A factor influencing the adjustment of DAC trajectory is the need to consider the technological conditions for mounting the support-brackets on which the monorail is installed.

The updating of the trajectory of the dedicated air corridor relative to the laid route is carried out based on the principle of a *minimum increase in the length of the corridor*, based on the limited charge of UAV batteries.

The start point of DAC will be the take-off point of UAV at the beginning of the route, the end of DAC will be the point of landing of UAV at the end of the route.

The DAC axis will be the trajectory of the ground mobile platform.

The circumference of DAC (C_{AP}) can be calculated using the formula:

$$C_{AP} = (C_L + 1/2M_S + D_U) \cdot 2,$$

where C_L is length of the holding cable;

M_S is length of the movable platform;

D_U is UAV length.

Stage 3: determination of the required number and location of sites intended for take-off/landing of UAV (hereinafter referred to as landing sites (LS))

Landing sites are located both at the base and intermediate points of UAV route, and additional LS can also be provided for the purposes of technological operations with UAV, such as changing batteries, on-board equipment, and similar operations, in other places of UAV route. Several LS can be provided at each base or intermediate point of the route.

The size and shape of the landing site are determined considering dimensions of UAV used, the contents and composition of the planned technological operations with UAV, as well as the characteristics of the adjacent territory.

Branches from the monorail are provided to LS locations, if necessary, which allows given UAVs not to block movement of other UAVs along the monorail, and allows landing sites to be placed not only next to the main monorail, but also at the required distance, which expands

the possibilities when choosing the most convenient locations for platforms and other elements of the system.

The total number of landing sites is not limited and depends on RCS operating conditions.

Stage 4: choice of the location of the control centre (CC) for UAV RCS

The control centre for UAV RCS includes operators who remotely control movement of UAVs, and hardware and software complexes that allow operators to remotely control UAVs. In addition, other additional equipment and employees may be provided as part of the system CC to increase reliability and productivity of RCSs.

The main requirement for location of CC is the presence of an uninterrupted GSM signal (or of other applied signal) providing communication between the operator and UAVs.

CC can be both single and distributed, consisting of several geographically distributed workplaces of operators controlling UAV traffic. The optimal is formation of a single CC from where the operators direct contact each other, it can be organized like air traffic control centre.

The optimal location for the system control centre is the one from which operators can observe movement of UAVs not only using hardware, but also visually.

Additional factors considered when choosing the location of CC are as follow:

- *availability of access roads.* The availability of such routes will allow operators and technical personnel of the system to quickly go to the distributed points of RCS to perform various technological operations, including repair;

- *availability in the immediate vicinity of a take-off/landing site for UAV operated together with RCS.* The presence of such a site will allow the operators and technical personnel of the system to carry out the necessary technological operations with UAVs directly next to the control centre;

- *availability of a backup line (source) of power supply.* The presence of a reserve source of power supply makes it possible to increase reliability of RCS operation;

- *presence of security at the entrances to the building (room) in which CC is supposed to be located.* The presence of security allows to

of the Ministry of Justice of the Russian Federation. [Electronic resource]: <https://minjust.consultant.ru/documents/19230>. Last accessed 01.03.2020.

4. Altawy, R., Youssef, A. M. Security, Privacy, and Safety Aspects of Civilian Drones: A Survey. *ACM Transactions on Cyber-Physical Systems*, 2016, Vol. 1, Iss. 2, Article No. 7, pp. 1–25. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/profile/Riham_Altawy/publication/313329204_Security_Privacy_and_Safety_Aspects_of_Civilian_Drones_A_Survey/links/5a4adb22458515f6b05b47e4/Security-Privacy-and-Safety-Aspects-of-Civilian-Drones-A-Survey.pdf. Last accessed 01.03.2020. DOI: 10.1145/3001836.

5. Huttunen, M. Drone Operations in the Specific Category: A Unique Approach to Aviation Safety. *The Aviation & Space Journal*, 2019, Vol. 18, No. 2, pp. 2–21. [Electronic resource]: <http://www.aviationspacejournal.com/wp-content/uploads/2019/08/The-Aviation-Space-Journal-Year-XVIII-April-July-2019-1.pdf>. Last accessed 01.03.2020.

6. Pérez-Castán, J. A. [et al]. Identification, Categorisation and Gaps of Safety Indicators for U-Space. *Energies*, 2020, Vol. 13 (3), pp. 1–17 (608). [Electronic resource]: DOI: <https://doi.org/10.3390/en13030608>. Last accessed 01.03.2020.

7. SESAR2020. Official website Eurocontrol. [Electronic resource]: <https://www.eurocontrol.int/sesar2020>. Last accessed 10.03.2020.

8. Michel, A. Counter-Drone Systems. 1st ed., Center for the Study of the Drone at Bard College, New York, NY, USA, 2018. [Electronic resource]: <https://dronecenter.bard.edu/files/2018/02/CSD-Counter-Drone-Systems-Report.pdf>. Last accessed 15.02.2020.

9. Wild, G., Murray, J., Baxter, G. Exploring civil drone accidents and incidents to help prevent potential air disasters. *Aerospace*, 2016, Vol. 3, Iss. 3, pp. 22–32. [Electronic resource]: DOI: <https://doi.org/10.3390/aerospace3030022>. Last accessed 01.03.2020.

10. Boeing's Compact Laser Weapons System: Sets Up in Minutes, Directs Energy in Seconds. [Electronic resource]: <https://www.youtube.com/watch?v=ljp3-zjTlp0>. Last accessed 17.03.2020.

11. Unmanned Aircraft System Traffic Management. Official website of National Aeronautics and Space Administration (NASA). [Electronic resource]: <https://utm.arc.nasa.gov/index.shtml>. Last accessed 17.03.2020.

12. Civil drones (Unmanned aircraft). Official website of European Aviation Safety Agency. [Electronic resource]: <https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/civil-drones-rpas#group-easa-related-content>. Last accessed 10.02.2020.

13. NTU to develop traffic management solutions so drones can fly safely in Singapore's airspace. Official website of Nanyang Technological University. [Electronic resource]: http://news.ntu.edu.sg/news/Pages/NewsDetail.aspx?URL=http://news.ntu.edu.sg/news/Pages/NR2016_Dec28.aspx&Guid=20327ba4-b019-4a38-a86f-47e64d89ba0d&Category=All. Last accessed 10.03.2020.

14. Pérez-Castán, J. A. [et al]. GRPAS conflict-risk assessment in non-segregated airspace. [Electronic resource]: *Safety Science*, 2019, Vol. 111, pp. 7–16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.08.018>. Last accessed 10.03.2020.

15. Lykou, G., Moustakas, D., Gritalis, D. Defending Airports from UAS: A Survey on Cyber-Attacks and Counter-Drone Sensing Technologies. [Electronic resource]: *Sensors*, 2020, Vol. 20, No. 3537. DOI: <https://doi.org/10.3390/s20123537>. Last accessed 10.08.2020.

16. Dietrich, B., Iff, S., Profelt, J. [et al]. Development of a local air surveillance system for security Purposes: Design and Core Characteristics. *European Journal for*

Security Research, 2017, Vol. 2 (2), pp. 119–129. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/312551987_Development_of_a_Local_Air_Surveillance_System_for_Security_Purposes_Design_and_Core_Characteristics/download. Last accessed 10.03.2020.

17. Fioranelli, F., Ritchie, M., Griffiths, H., Borrión, H. Classification of Loaded/Unloaded Micro-Drones Using Multistatic Radar. *Electronics Letters*, 2015, Vol. 51, pp. 1813–1815. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/profile/Francesco_Fioranelli/publication/282334467_Classification_of_LoadedUnloaded_Micro-Drones_Using_Multistatic_Radar/links/561e48f808aeacde1acb5f63/Classification-of-Loaded-Unloaded-Micro-Drones-Using-Multistatic-Radar.pdf. Last accessed 10.03.2020. DOI: 10.1049/el.2015.3038.

18. Xiufang Shi, Chaoqun Yang, Weige Xie, Chao Liang, Zhiguo Shi, Jiming Chen. Low-Complexity Portable Passive Drone Surveillance via SDR-Based Signal Processing. *IEEE Communications Magazine*, 2018, Vol. 56, No. 4, pp. 112–118. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/profile/Samith_Abeywickrama/publication/324511855_Low-Complexity_Portable_Passive_Drone_Surveillance_via_SDR-Based_Signal_Processing/links/5d3b1b1c4585153e59249c1a/Low-Complexity-Portable-Passive-Drone-Surveillance-via-SDR-Based-Signal-Processing.pdf. Last accessed 10.03.2020. DOI: 10.1109/MCOM.2018.1700424.

19. Ritchie, M., Fioranelli, F., Griffiths, H., Torvik, B. Micro-drone ricks analysis. *IEEE Radar Conference*, Oct 2015, pp. 452–456. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/profile/Francesco_Fioranelli/publication/285164289_Micro-drone_RCS_analysis/links/5756806b08ae155a87b9d55a/Micro-drone-RCS-analysis.pdf. Last accessed 10.03.2020. DOI: 10.1109/RadarConf.2015.7411926.

20. Shi, Xiufang; Chaoqun, Yang; Weige, Xie; Chao, Liang; Zhiguo, Shi; Jiming, Chen. Anti-Drone System with Multiple Surveillance Technologies: Architecture, Implementation, and Challenges. *IEEE Communications Magazine*, 2018, Vol. 56 (4), pp. 68–74. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/profile/Xiufang_Shi/publication/324514116_Anti-Drone_System_with_Multiple_Surveillance_Technologies_Architecture_Implementation_and_Challenges/links/5c64f8fd92851c48a9d26369/Anti-Drone-System-with-Multiple-Surveillance-Technologies-Architecture-Implementation-and-Challenges.pdf. Last accessed 10.03.2020. DOI: 10.1109/MCOM.2018.1700430.

21. Shvetsova S. V., Shvetsov A. V. Ensuring Safety During the Operation of Unmanned Aerial Vehicles at Transport Infrastructure Facilities. *World of Transport and Transportation*, 2020, Vol. 18, Iss. 3, pp. 174–188.

22. Shvetsova S. V., Shvetsov A. V. Safety Analysis of Goods Transportation by Unmanned Aerial Vehicles. *World of Transport and Transportation*, 2019, Vol. 17, Iss. 5, pp. 286–297. [Electronic resource]: <https://mirrelpub.ru/jour/article/view/1757/2175>. Last accessed 10.03.2020. DOI: 10.30932/1992-3252-2019-17-5-286-297.

23. Dantzig, G. B., Ramser, J. H. The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, Oct. 1959, Vol. 6, No. 1, pp. 80–91.

24. Morozov, A. V. Mathematical models of problems of building closed routes on the transport network. *Shchucny intellekt*, 2015, Vol. 1–2, pp. 157–169. [Electronic resource]: <https://core.ac.uk/download/pdf/87400914.pdf>. Last accessed 10.03.2020.

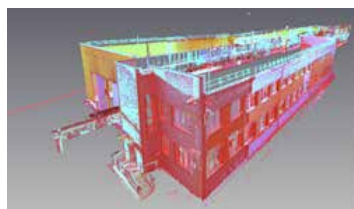
25. Papadimitriou, H., Stayglists, K., Alexeev, V. B. Combinatorial optimization. Algorithms and Complexity [In Russian]. Moscow, Mir, 1985, 511 p.

26. Maynika, E. Optimization algorithms on networks and graphs [In Russian]. Moscow, Mir, 1981, 328 p. ●



ТРАНСПОРТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО 98

*Цифровая железная дорога:
инвестиции в реконструкцию,
BIM-технологии
как её элементы.*



ГОРОДСКОЙ ПАССАЖИРСКИЙ ТРАНСПОРТ 108

*Федеральный бюджет
намерен помочь регионам
обновить дороги и городской
транспорт. Что и как для этого
нужно учесть и сделать?*

ПАССАЖИРСКИЕ ПЕРЕВОЗКИ 118

*Чем отличаются
пассажироперевозки
железными дорогами мира
и удастся ли выбрать то,
на что следует всем
ориентироваться?*

TRANSPORT CONSTRUCTION 103

*Digital railway; investments
in reconstructed infrastructure,
BIM technology and its
elements.*



URBAN PASSENGER TRANSPORT 113

*Federal budget is going
to assist regions to renew
municipal roads and urban
vehicle fleet. What and how
should the regions consider
and do?*

PASSENGER TRANSPORTATION 126

*How does passenger
transportation by different
railways differ?
Will it be possible to benchmark
references that can be
useful for all?*

ЭКОНОМИКА • ECONOMICS



Эффективность планирования реконструкции объектов железнодорожного транспорта с применением BIM



Борис ВОЛКОВ



Дмитрий БОЯРИНОВ

Волков Борис Андреевич – Российский университет транспорта, Москва, Россия.

Бояринов Дмитрий Алексеевич – ОАО «РЖД», Москва, Россия.*

Развитие предприятий промышленности и рост рынка логистических услуг требуют применения нового подхода при планировании строительства и реконструкции объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта.

Для эффективного функционирования транспортной системы необходимо сбалансировать возможности инфраструктуры и потребности рынка грузовых и пассажирских перевозок. Неравномерность роста объёмов перевозок служит дополнительной нагрузкой на сеть железных дорог. Реконструкция объекта инфраструктуры может быть рассмотрена как поэтапное усиление производственных мощностей предприятия с учётом показателей чистого дисконтированного дохода (ЧДД) и трудозатрат на основе метода динамического программирования.

Реконструкция железных дорог в условиях дефицита информации о существующем объекте

инфраструктуры является насущной проблемой проектной организации при проведении изысканий в стеснённых условиях, согласовании перечня инженерных сетей и увязке инфраструктуры объекта проектирования с внешними балансодержателями.

В статье проанализирован вопрос применения BIM-моделирования при планировании реконструкции объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта. В качестве примера рассмотрена концепция цифровой железной дороги. Проекты цифровой железной дороги являются основными драйверами экономики многих стран.

Целью статьи является рассмотрение ведущей роли BIM для применения в реконструкции инфраструктурных проектов, продемонстрирован метод экономической оценки вариантов инвестиционной деятельности на основе динамического программирования по показателю ЧДД.

Ключевые слова: реконструкция, транспортная инфраструктура, чистый дисконтированный доход, трудозатраты, динамическое программирование, BIM-моделирование, заказчик, проектирование, экспертиза, строительство, управление жизненным циклом объекта реконструкции.

*Информация об авторах:

Волков Борис Андреевич – доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор кафедры проектирования и строительства железных дорог Российского университета транспорта, Москва, Россия, volkov-miit@yandex.ru.

Бояринов Дмитрий Алексеевич – ведущий инженер Дирекции по комплексной реконструкции железных дорог и строительству объектов железнодорожного транспорта – группы заказчика по строительству и реконструкции интермодальных транспортно-пересадочных узлов, филиал ОАО «РЖД» (ДКРС–Москва), аспирант Российского университета транспорта, Москва, Россия, daboyarinov.dkrsmk@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 17.02.2020, актуализирована 10.08.2020, принята к публикации 21.08.2020.

For the English text of the article please see p. 103.

ВВЕДЕНИЕ

Инфраструктура железнодорожного транспорта может быть поделена на две группы. Первая группа объединяет главные, станционные и подъездные железнодорожные пути, включая искусственные сооружения (водопропускные трубы, водоотводные канавы, лотки, мосты, подпорные стенки и т.д.). Вторая группа включает в себя все остальные объекты железнодорожного транспорта (депо, вокзалы, тяговые подстанции, экипировочные устройства и т.д.), которые представляют инфраструктуру железнодорожного пути [1].

Согласно Федеральному Закону № 18-ФЗ «Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации», инфраструктура железнодорожного транспорта включает в себя железнодорожные пути общего пользования, железнодорожные станции, устройства электроснабжения, сети связи, системы сигнализации, централизации и блокировки, информационные комплексы, систему управления движением и иные обеспечивающие функционирование инфраструктуры здания, строения, сооружения, устройства и оборудование [2].

Целью исследования является анализ эффективности применения BIM-технологии в проектировании для технико-экономической оценки вариантов строительства по показателю чистого дисконтированного дохода (ЧДД). Для исследований используются методы динамического программирования и расчёта чистого дисконтированного дохода.

1. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВАРИАНТОВ ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Необходимость наращивать пропускную способность объектов железнодорожного транспорта обусловлена ростом объёма грузовых и пассажирских перевозок. Экономическая эффективность реконструкции таких объектов должна рассматриваться при поэтапном их усилении с использованием как технических, так и экономических показателей. В качестве экономического показателя может быть использован показатель чистого дисконтированного дохода (ЧДД) [1, с. 125–128]. Для объектов, представляющих частные предприятия, таких как акционерные общества (АО), общества с ограничен-

ной ответственностью (ООО), показатель ЧДД при реконструкции объектов выражается зависимостью [1]:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^{T_p} \frac{(D_t - Z_t - H_t)}{(1 + E)^t} - \sum_{t=1}^{T_p} \frac{K_t}{(1 + E)^t}, \quad (1)$$

где D_t – доход (выручка) предприятия в t -й год;

Z_t – затраты предприятия в t -й год;

H_t – налоги в t -й год;

K_t – инвестиционные затраты в t -й год;

E – норма дисконта;

T_p – горизонт расчёта.

При определении ЧДД по формуле (1) следует учитывать налоги на имущество ($H_{\text{и}}$) и на прибыль ($H_{\text{п}}$):

$$H_t = H_{\text{и}t} + H_{\text{п}t}, \quad (2)$$

$$H_{\text{и}t} = \alpha K_{\text{ост}t}, \quad (3)$$

где α – процентная ставка на налог с имущества;

$K_{\text{ост}}$ – остаточная стоимость имущества,

$$K_{\text{ост}} = K_{\text{пер}} - \Sigma A, \quad (4)$$

где $K_{\text{пер}}$ – первоначальная стоимость имущества;

ΣA – начисленная амортизация.

Налог на прибыль в t -й год:

$$H_{\text{п}t} = \beta (D_t - Z_t - H_{\text{и}t}), \quad (5)$$

где β – процентная ставка налога на прибыль;

$H_{\text{и}t}$ – налог на имущество в t -й год.

Этапность реконструкции объектов инфраструктуры железнодорожного пути с ростом грузонапряжённости и объёма пассажирских перевозок может быть представлена в виде схемы (Рис. 1).

На данной схеме ось ординат – j -мощность объекта реконструкции, ось абсцисс – i -время.

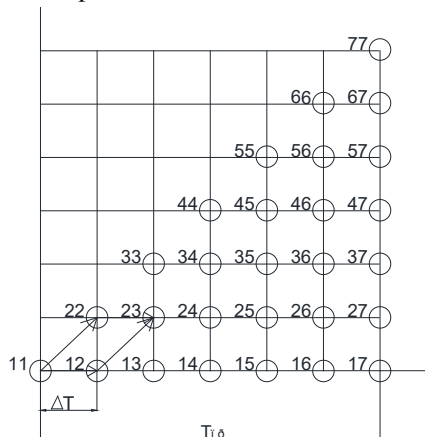


Рис. 1. Схема выбора возможных вариантов последовательности реконструкции [схема Д. А. Бояринова].



Состояние объекта показывается в виде кружка с номером « $i-j$ ». Например, «2–4», где «2» – второй этап реконструкции объекта, «4» – состояние объекта, характеризующее его мощностью.

Мощность объекта может быть выражена, например, в количестве отремонтированных вагонов в год, количестве экипировки локомотивов или в виде годовой выработки предприятия.

Прогнозируемый период $T_{пр}$ разделяется на этапы, продолжительность которых ΔT назначается в зависимости от сроков реконструкции объектов.

Согласно свойству треугольника Паскаля, каждое число в треугольнике равно количеству способов добраться до него из вершины, перемещаясь либо вправо по горизонтали, либо вверх по диагонали. Также сумма i -ой строки треугольника Паскаля равна $S_i = 2^i$. Принимая состояние «1–1» за нулевую строку, получим, что количество всех путей равно: $2^6 = 64$.

Для сокращения количества анализируемых вариантов реконструкции объекта может быть использован метод динамического программирования, основывающийся на принципе оптимальности Беллмана, согласно которому осуществляется замена исходной многомерной задачи последовательностью задач меньшей размерности. Каково бы ни было состояние системы перед очередным шагом, необходимо выбирать управление на этом шаге так, чтобы доход (ЧДД) на данном шаге вместе с оптимальным доходом на всех последующих шагах был максимальным. Это даёт возможность уменьшить количество анализируемых вариантов и время поиска рационального варианта с экономической точки зрения при поэтапной реконструкции объектов инфраструктуры железнодорожного пути.

Рассмотрим локальные варианты реконструкции объекта из состояния «1–1» в состояние «2–3» (рис. 1). Может быть 2 локальных варианта:

1. Из «1–1» в «2–2» (проводится реконструкция) и осуществляется переход в «2–3» (эксплуатация).

Или:

2. Из «1–1» в «1–2» (эксплуатация), далее реконструкция осуществляется при переходе из состояния «1–2» в состояние «2–3».

Данные локальные варианты имеют общее начало «1–1» и общее конечное состояние «2–3». Продолжение вариантов реконструкции из состояния «2–3» для всех анализируемых локальных вариантов будет одинаковое. Следовательно, мы можем по выбранному показателю ЧДД выбрать один из двух рассматриваемых локальных вариантов и в дальнейшем анализ проводить только с учётом этого выбранного варианта. В этом случае потребное для анализа количество вариантов реконструкции объектов инфраструктуры железнодорожного пути можно выразить следующим определением:

$$A_i^j = \frac{i!}{(i-j)!}.$$

При $i = 6, j = 2$ получим 5:

$$A_i^j = \frac{6!}{(6-2)!} = 30 < S_i = 64.$$

Количество анализируемых вариантов для выявления эффективного решения сокращается в:

$$\frac{S_i}{S_i^j} = \frac{64}{30} = 2,1 \text{ раза.}$$

Сравнение локальных вариантов осуществляется путём максимизации ЧДД. В первом варианте ЧДД определяется по зависимости:

$$\begin{aligned} \text{ЧДД}_1 = & \sum_{t=T_0}^{T_p} \frac{(\Delta L_{t_1} - \Delta Z_{t_1} - \Delta H_{t_1})}{(1+E)^t} - K_{p_1} + \\ & + \sum_{t=\Delta T}^{2\Delta T} \frac{(\Delta L_{t_2} - \Delta Z_{t_2} - \Delta H_{t_2})}{(1+E)^t}. \end{aligned} \quad (6)$$

Для второго локального ЧДД:

$$\begin{aligned} \text{ЧДД}_2 = & \sum_{t=T_0}^{t=\Delta T+T_p} \frac{(\Delta L_{t_2} - \Delta Z_{t_2} - \Delta H_{t_2})}{(1+E)^t} - \frac{K_{p_2}}{(1+E)^{\Delta T}} + \\ & + \sum_{t=\Delta T+T_p}^{2\Delta T} \frac{(\Delta L_{t_2} - \Delta Z_{t_2} - \Delta H_{t_2})}{(1+E)^t}, \end{aligned} \quad (7)$$

где в данных зависимостях:

$\Delta L_{t_1}, (\Delta L_{t_1})$ – увеличение дохода предприятия после анализируемого этапа реконструкции объекта по первому локальному варианту (по второму) в t -й год;

$\Delta Z_{t_1}, (\Delta Z_{t_2})$ – увеличение затрат в t -й год после реконструкции, обусловленной увеличением объёма работ по первому локальному варианту (по второму);

$\Delta H_{t_1}, (\Delta H_{t_2})$ – изменение налогов после проведения данного этапа реконструкции объекта;

T_p – срок реконструкции объекта;

$K_{p_1}, (K_{p_2})$ – затраты на реконструкцию по вариантам.

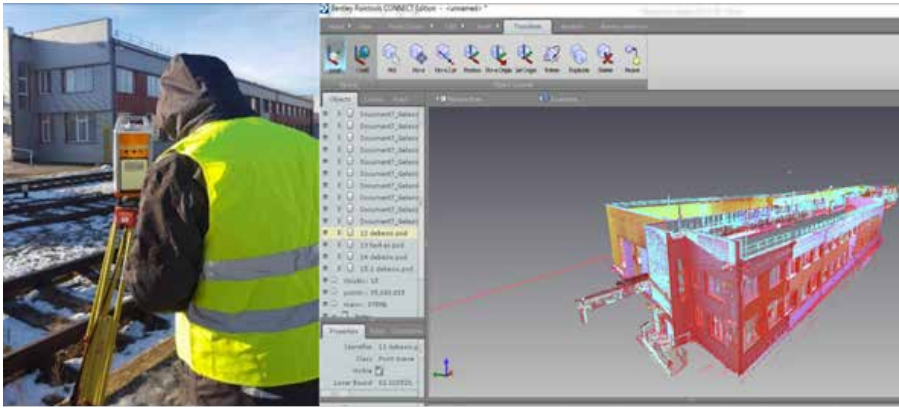


Рис. 2. Создание трёхмерной информационной модели объекта реконструкции в ПО Bentley [6].

Рациональный вариант реконструкции объекта будет найден при переходе на точку окончательного состояния объекта « $i-j$ ».

Для повышения надёжности выбора рационального варианта поэтапной реконструкции объекта целесообразно осуществить проверку выбранного варианта по критерию минимизации трудозатрат. В этом случае критерием выбора локальных вариантов при использовании динамического программирования служит минимум трудозатрат при осуществлении реконструкции и эксплуатации объекта [7].

Общие трудозатраты при реконструкции и эксплуатации объекта определяются по следующей зависимости:

— для первого, выше рассмотренного локального варианта:

$$T_1 = \sum_{t=0}^{T_p} \frac{T_{t1}}{(1 + E_T)^t} + T_{p1} + \sum_{t=T_p}^{t=2\Delta T} \frac{T_{t1}}{(1 + E_T)^t}; \quad (8)$$

— для второго локального варианта:

$$T_2 = \sum_{t=0}^{t=\Delta T+T_p} \frac{T_{t2}}{(1 + E_T)^t} + \frac{T_{p2}}{(1 + E_T)^{\Delta T}} + \sum_{t=\Delta T+T_p}^{t=2\Delta T} \frac{T_{t2}}{(1 + E_T)^t}, \quad (9)$$

где T_p , T_2 — общие трудозатраты по первому и второму локальным вариантам;

T_{p1} , T_{t2} — трудозатраты по эксплуатации объектов по первому и второму локальным вариантам;

T_{p1} , T_{p2} — трудозатраты при реконструкции объекта;

E_T — коэффициент дисконтирования трудозатрат, определяется в соответствии с изменением заработной платы во времени.

Если выбранный вариант по критерию \max ЧДД совпадает с критерием $\min T$, то этот вариант принимается к реализации.

В противном случае требуется дополнительный анализ при отдаче предпочтения показателю \max ЧДД. При разработке вариантов строительства (реконструкции) объектов инфраструктуры часто возникает необходимость вносить изменения в проектно-сметную документацию.

2. КОНЦЕПЦИЯ ЦИФРОВОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

При реализации инфраструктурных проектов железнодорожного транспорта следует применять программные комплексы автоматического программирования на основе технологии Building Information Modelling (BIM). BIM направлен на то, чтобы сделать строительные проекты более экономичными, устойчивыми и пунктуальными [5]. Некоторые исследователи даже говорят о BIM модели, добавляя измерение управления объектами жизненного цикла, но для этого нужна ясная связь с бизнес-процессами [4; 13], согласование перечня инженерных сетей и увязка инфраструктуры объекта проектирования с внешними балансодержателями [напр., 3]. В целом проекты цифровой железной дороги являются основными драйверами экономики многих стран [6].

Основными целями и задачами применения BIM в строительстве и реконструкции железнодорожной инфраструктуры является анализ архитектурно-градостроительной ситуации, принятие объёмно-планировочных решений, технико-экономическое сравнение вариантов конструктивных решений инвестиционного проекта на этапе разработки основных проектных решений.



Интеграция географических информационных сетей и BIM-технологий поможет принимать качественные решения по бизнес-процессам [3; 13].

Важным этапом использования BIM в проектах реконструкции объектов инфраструктуры является создание 3D-модели облака точек. На рис. 2 показан этап работы в программном комплексе Bentley, в котором облако физических точек, образующих геометрические полупространства и фигуры, составляют часть физического здания реконструируемого депо. Эта информационная модель объединяет результаты работы наземного лазерного сканера и фотограмметрии с близкого расстояния. Надёжная информация и работа команды проекта на основе методологии BIM обеспечивают эффективные процедуры и предотвращают возникновение наиболее значительных проблем, характерных для проектов реконструкции, которые реализуются традиционным способом и без использования информационного моделирования и других цифровых технологий. Комплексное использование современных компьютерных инструментов и BIM является лучшим решением при реконструкции инфраструктурных объектов [9–11].

ВЫВОД

Использование метода динамического программирования вместе с использованием BIM технологии позволит повысить эффективность технико-экономической оценки инвестиционных проектов по показателю чистого дисконтированного дохода (ЧДД) за счёт уменьшения срока проектирования и составления сводного сметного расчёта (ССР), повысит качество планирования и реализации реконструктивных мероприятий объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта, увеличит срок жизненного цикла объекта, сократит издержки при реконструкции, а также эксплуатации объекта [8]. Данный подход может быть использован при оптимизации реконструкции других транспортных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков Б. А., В. В. Соловьёв, А. Ю. Добрин, Н. С. Лобанова. Экономика строительства железных дорог. — М.: УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте», 2018. — С. 125–128.

2. Федеральный закон «Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации» от 10.01.2003 г. № 18-ФЗ. [Электронный ресурс]: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/19008>. Доступ 21.05.2020.

3. Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., Teicholz, P. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119287568>.

4. Лёвин Б. А., Цветков В. Я. Кибер-физические системы в управлении транспортом // *Мир транспорта*. — 2018. — Т. 16. — № 2. — С. 138–145. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35215359>. Доступ 21.05.2020.

5. Куприяновский В. П. и др. Экономика инноваций цифровой железной дороги. Опыт Великобритании // *International Journal of Open Information Technologies*. — 2017. — Т. 5. — № 3. — С. 79–99. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28426697>. Доступ 21.05.2020.

6. Telyatnikova, N., Spiridonov, E., Boyarinov, D. Innovation, Informatization and Digitalization of the Infrastructure Facilities Design and Construction of High-speed Railways in Russia & Eurasian Union. Proceedings of 22nd International scientific conference. Transport Means 2018. Kaunas, Kaunas University of Technology, 2018, pp. 1161–1166.

7. Гасников А. В. и др. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: Учеб. пособие. — Изд. 2-е, испр. и доп. — М.: МЦНМО, 2013. — 427 с.

8. Соловьёв В. В. Анализ компонентов стоимости строительной продукции // *Мир транспорта*. — 2017. — Т. 15. — № 5. — С. 106–117. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32311911>. Доступ 21.05.2020.

9. Волкова В. А., Волкова И. А. Разработка структуры и состава классификатора строительной информации для применения BIM-технологий // *Вестник МГСУ*. — 2020. — Т. 15. — Вып. 6. — С. 867–906. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-struktury-i-sostava-klassifikatora-stroitelnoy-informatsii-dlya-primeneniya-bim-tehnologii>. Доступ 21.05.2020.

10. Knjazuk, E. M., Mirza, N. S. The use of building classifications for information modeling of roads. [Электронный ресурс]: *CAD & GIS of Highways*, 2017, Vol. 1 (8), pp. 13–19. Доступ 21.05.2020. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.12.1628-1637.

11. Edirisinghe, R., London, K. Comparative analysis of international and national level BIM standardization efforts and BIM adoption. Proceeding of the 32nd CIB W78 Conference. Eindhoven. The Netherlands, 2015, pp. 149–158. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/286496233_Comparative_Analysis_of_International_and_National_Level_BIM_Standardization_Efforts_and_BIM_adoption/. Доступ 21.05.2020.

12. Balslev, H. The Reference Designation System (RDS) a common naming convention for systems and their elements. INCOSE International Symposium, 2016, Vol. 26 (1), pp. 1639–1656. DOI: 10.1002/j.2334-5837.2016.00251.

13. Синягов С. А., Куприяновский В. П., Куренков П. В. и др. Строительство и инженерия на основе стандартов BIM как основа трансформаций инфраструктур в цифровой экономике // *International Journal of Open Information Technologies*. — 2017. — Т. 5. — № 5. — С. 46–79. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29226715>. Доступ 21.05.2020. ●



Efficiency of Planning the Reconstruction of Railway Facilities Using BIM



Boris A. VOLKOV



Dmitry A. BOYARINOV

*Volkov, Boris A., Russian University of Transport, Moscow, Russia.
Boyarinov, Dmitry A., JSC Russian Railways, Moscow, Russia*.*

ABSTRACT

The development of industrial enterprises and the growth of the logistics market require a new approach of planning the construction and reconstruction of railway infrastructure facilities.

For the efficient functioning of the transport system, it is necessary to balance the infrastructure capacity and the needs of the freight and passenger transport market. Uneven growth in traffic volumes applies an extra load to the railway network. Reconstruction of an infrastructure facility can be considered as a phased increase in the production capacity of an enterprise, considering the indicators of net present value (NPV) and labour costs based on the dynamic programming method.

The article analyses the issue of using BIM-modelling in planning the reconstruction of

railway infrastructure facilities. The concept of a digital railway is considered as an example since digital railway projects are the main drivers of the economy of many countries.

Reconstruction of railways in the context of a lack of information about the existing infrastructure facility is an urgent problem for the design organization when conducting surveys in difficult conditions, agreeing on the list of engineering networks and linking the infrastructure of the design object with external asset holders.

The objective of the article is to consider the dominant role of BIM for the infrastructure reconstruction projects using a method for economic assessment of investment options based on dynamic programming according to NPV indicator.

Keywords: *reconstruction, transport infrastructure, net present value, labour costs, dynamic programming, BIM-modelling, customer, design, expertise, construction, life cycle management of the reconstruction object.*

*Information about the authors:

Volkov, Boris A. – D.Sc. (Economics), Ph.D. (Eng), Professor at the Department of Design and Construction of Railways of Russian University of Transport, Moscow, Russia, volkov-miit@yandex.ru.

Boyarinov, Dmitry A. – Leading Engineer of the Directorate for Complex Reconstruction of Railways and Construction of Railway Facilities, Customer Group for Construction and Reconstruction of Intermodal Transport-Interchange Hubs, Branch of JSC Russian Railways (DKRS-Moscow), Ph.D. student at Russian University of Transport, Moscow, Russia, daboyarinov.dkrrsmk@yandex.ru.

Article received 17.02.2020, revised 10.08.2020, accepted 21.08.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 98.

Background.

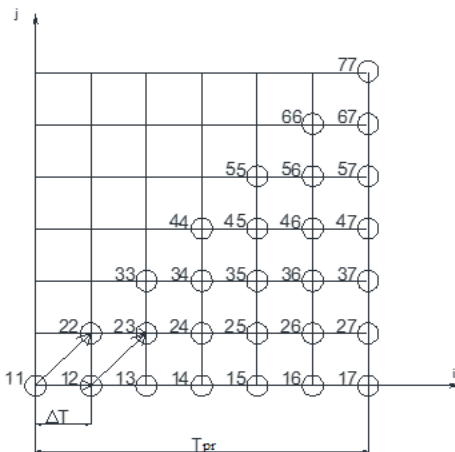
The railway transport infrastructure can be divided into two groups. The first group integrates main, station and access railway lines, including artificial structures (culverts, drainage ditches, chutes, bridges, retaining walls, etc.). The second group comprises all other objects of railway transport (depots, railway stations, traction substations, equipment, etc.), which represent the infrastructure of the railway track [1].

In Russia, according to Federal Law No. 18-FZ «Charter of Railway Transport of the Russian Federation», the infrastructure of railway transport includes public railway tracks, railway stations, power supply devices, communication networks, signalling, centralization and blocking systems, information systems, traffic control system, and other buildings, structures, structures, devices, and equipment that ensure functioning of the infrastructure [2].

The *objective* of the study is to analyse the effectiveness of the use of BIM-technology in design for the feasibility study of construction options in terms of net present value (NPV) using the methods of dynamic programming and calculation of net present value.

1. Economic assessment of the investment and construction process

The need to increase the capacity of railway transport facilities is due to the growth in the volume of freight and passenger transportation. The economic efficiency of reconstruction of such facilities should be considered with their



Pic. 1. Scheme for selecting possible options for the sequence of reconstruction [compiled by D. A. Boyarinov].

step-by-step strengthening using both technical and economic indicators. The indicator of net present value (NPV) [1, pp. 125–128] can be used as an economic indicator. For objects owned by private enterprises, such as joint stock companies (JSC), limited liability companies (LLC), NPV indicator during reconstruction of objects is expressed by the relationship [1]:

$$NPV = \sum_{t=1}^{H_r} \frac{(I_t - C_t - TX_t)}{(1 + D)^t} - \sum_{t=1}^{H_r} \frac{IC_t}{(1 + D)^t}, \quad (1)$$

where I_t – income (proceeds) of the enterprise in the t -th year;

C_t – costs of the enterprise in the t -th year;

TX_t – taxes in the t -th year;

IC_t – investment costs in the t -th year;

D – discount rate;

H_r – calculation horizon.

When determining NPV according to formula (1) it is necessary to consider property taxes (TX_p) and income taxes (TX_i):

$$TX = TX_{it} + TX_{pt}, \quad (2)$$

$$TX_{it} = \alpha \cdot VP_{res}, \quad (3)$$

where α – property income tax rate;

VP_{res} – residual value of the property.

$$VP_{res} = VP_{init} - \Sigma A, \quad (4)$$

where VP_{init} – initial value of the property;

ΣA – accrued depreciation.

Income tax in the t -th year:

$$TX_{pt} = \beta(I_t - C_t - TX_{it}), \quad (5)$$

where β – interest rate of income tax;

N_{it} – property tax in the t -th year.

The stages of reconstruction of railway infrastructure facilities with an increase in freight traffic and the volume of passenger transportation can be presented in the form of the following diagram (Pic. 1).

In this diagram, the ordinate axis is j –power of the reconstruction object, the abscissa axis is i –time.

The state of the object is shown as a circle with the number « i – j », for example, «2–4», where: «2» is the second stage of reconstruction of the object, «4» is the state of the object, characterized by its capacity.

The capacity of the object can be expressed, for example, in the number of cars repaired per year, the amount of equipment for locomotives, or in the form of the annual output of the enterprise.

The predicted period H_{pr} is divided into stages, the duration of which ΔT is assigned depending on terms of reconstruction of objects.

According to the property of Pascal's triangle, each number in the triangle is equal to the number of ways to get to it from the vertex, moving either horizontally to the right or diagonally upward. The sum of the i -th row of Pascal's triangle is $S_i = 2^i$. Taking the state «1–1» as the zero row, we get that the number of all paths is: $2^6 = 64$.

To reduce the number of analysed variants of object reconstruction, a dynamic programming method based on the Bellman's optimality principle can be used, according to which the original multidimensional problem is replaced by a sequence of problems of a lower dimension. Whatever the state of the system before the next step is, it is necessary to choose the control at this step so that the value (NPV) at this step, together with the optimal income at all subsequent steps, should be the maximum. This makes it possible to reduce the number of analysed options and the time for searching a rational option from an economic point of view during the stage-by-stage reconstruction of railway infrastructure facilities.

Let us consider local variants of object reconstruction from the state «1–1» to the state «2–3» (Pic. 1). There may be 2 local options:

1) from «1–1» to «2–2» (reconstruction is underway) and the transition to «2–3» (operation) is underway;

or

2) from «1–1» to «1–2» (operation), then the reconstruction is carried out during the transition from the state «1–2» to the state «2–3».

Those local variants have a common starting point «1–1» and a common final state «2–3». The continuation of reconstruction options from the state «2–3» will be the same for all analysed local options. Therefore, according to the selected NPV indicator, we can choose one of two considered local options and, in the future, continue analysis only considering that selected option. In this case, the number of options for reconstruction of railway infrastructure facilities required for analysis can be expressed by the following definition:

$$A_i^j = \frac{i!}{(i-j)!}.$$

With $i = 6, j = 2$ we get 5:

$$A_i^j = \frac{6!}{(6-2)!} = 30 < S_i = 64.$$

The number of analysed options to identify an effective solution is reduced by:

$$\frac{S_i}{S_i^j} = \frac{64}{30} = 2,1 \text{ times.}$$

Comparison of local options is carried out by maximizing NPV. In the first option NPV is determined according to the dependence:

$$NPV_1 = \sum_{t=0}^{H_r} \frac{(\Delta I_{t_1} - \Delta C_{t_1} - \Delta TX_{t_1})}{(1+D)^t} - K_{r_1} + \sum_{t=H_r}^{t=2\Delta T} \frac{(\Delta I_{t_2} - \Delta C_{t_2} - \Delta TX_{t_2})}{(1+D)^t}. \quad (6)$$

For the second local NPV:

$$NPV_2 = \sum_{t=0}^{t=\Delta T+H_r} \frac{(\Delta I_{t_2} - \Delta C_{t_2} - \Delta TX_{t_2})}{(1+D)^t} - \frac{IC_{r_2}}{(1+D)^{\Delta T}} + \sum_{t=\Delta T+H_r}^{t=2\Delta T} \frac{(\Delta I_{t_2} - \Delta C_{t_2} - \Delta TX_{t_2})}{(1+D)^t}, \quad (7)$$

where in these dependencies:

ΔI_{t_1} , (ΔI_{t_1}) is an increase in the enterprise's income after the analysed stage of reconstruction of the object according to the first local option (according to the second) in the t -th year;

ΔC_{t_1} , (ΔC_{t_2}) is an increase in costs in the t -th year after reconstruction, due to an increase in the volume of work according to the first local option (according to the second);

ΔTX_{t_1} , (ΔTX_{t_2}) are changes in taxes after this stage of reconstruction of the object;

H_r is period of reconstruction of the object;

IC_{r_1} , (IC_{r_2}) – are costs of reconstruction as per options.

A rational version of reconstruction of the object will be found during the transition to the final state of the object « $i-j$ ».

To increase reliability of choosing a rational option for the phased reconstruction of an object, it is advisable to check the selected option according to the criterion of minimizing labour costs. In this case, the criterion for selection of local options when using dynamic programming is the minimum of labour costs during reconstruction and operation of the object [7].

Total labour costs in case of reconstruction and operation of the object are determined according to the following dependence:

– for the first one among above considered local options:

$$T_1 = \sum_{t=0}^{T_r} \frac{T_{t_1}}{(1+E_T)^t} + T_{r_1} + \sum_{t=T_r}^{t=2\Delta T} \frac{T_{t_1}}{(1+E_T)^t}; \quad (8)$$

– for the second local option:



$$T_2 = \sum_{t=0}^{t=\Delta T+T_r} \frac{T_{r2}}{(1+E_T)^t} + \frac{T_{r2}}{(1+E_T)^{\Delta T}} + \sum_{t=\Delta T+T_r}^{t=2\Delta T} \frac{T_{r2}}{(1+E_T)^t}, \quad (9)$$

where T_1 , T_2 are total labour costs as per the first and the second options;

T_{11} , T_{12} are labour costs when operating objects as per the first and the second local options;

T_{r1} , T_{r2} are labour costs when reconstructing the object;

E_T is labour cost discount factor as determined in accordance with the change in wages over time.

If the selected option according to the *max NPV* criterion coincides with *min T* criterion, then this option is accepted for implementation. Otherwise, additional analysis is required while giving preference to *max NPV* indicator. When developing options for construction (reconstruction) of infrastructure objects, it is often necessary to make changes to design and estimate documentation.

2. Digital railway concept

When implementing infrastructure projects for railway transport, automatic programming software systems based on Building Information Modelling (BIM) technology should be used. BIM aims to make construction projects more cost-effective, sustainable, and punctual [5]. Some researchers even talk about the BIM model, adding a lifecycle object management dimension, but this requires a clear connection with business processes [4; 13], agreeing on the list of engineering networks and linking the infrastructure of the design object with external asset holders [e.g., 3]. Digital railway projects are the main drivers of the economy of many countries [6].

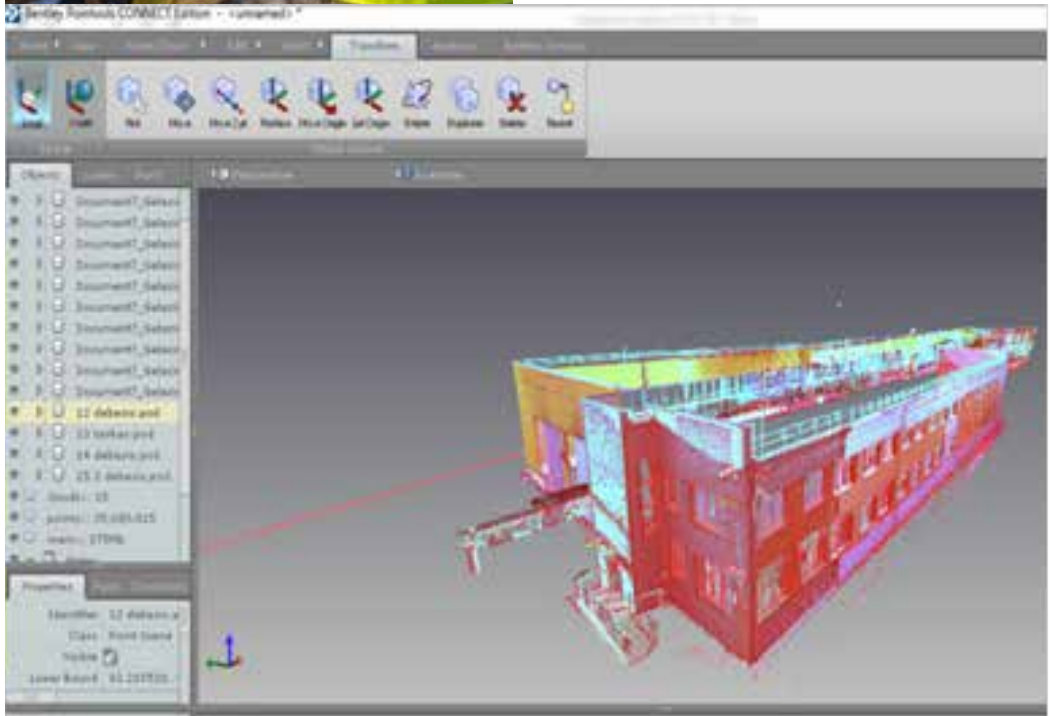


Fig. 2. Creation of a 3D information model of the reconstructed object in Bentley software [6].

So, the main goals and objectives of using BIM in construction and reconstruction of railway infrastructure is the analysis of the architectural and urban planning situation, making space-planning decisions, the technical and economic comparison of the options for promising solutions for an investment project at the stage of developing the main design solutions. The integration of geographic information networks and BIM technologies will help make high-quality decisions on business processes [3; 13].

An important step in using BIM in infrastructure reconstruction projects is creation of a 3D point cloud model. Pic. 2 shows a stage of work in Bentley software package, in which a cloud of physical points forming geometric half-spaces and figures are part of the physical building of the depot being reconstructed. This information model combines the results of a terrestrial laser scanner and close-range photogrammetry. Reliable information and project's team work based on BIM methodology ensures efficient procedures and prevents the most significant problems typical of renovation projects, which are implemented in the traditional way and without the use of information modelling and other digital technologies. The integrated use of modern computer tools and BIM is the best solution for reconstruction of infrastructure objects [9–11].

Conclusion. The use of the dynamic programming method together with the use of BIM technology will increase the efficiency of technical and economic assessment of investment projects in terms of net present value (NPV) by reducing design time and drawing up a consolidated estimate (CE), will improve quality of planning and implementation of measures for renewal of railway infrastructure objects, increase the life cycle of an object, reduce the costs of reconstruction, as well as of operation of an object [8]. This approach can be used to optimize reconstruction of other transport facilities.

REFERENCES

1. Volkov, B. A., Solovyov, V. V., Dobrin, A. Yu., Lobanov, N.S. Economy of railway construction [Ekonomika stroitelstva zheleznnykh dorog]. Moscow, TMC for education on railway transport, 2018, pp. 125–128.
2. Federal Law «Charter of Railway Transport of the Russian Federation» dated 10.01.2003 No. 18-FZ [Federal'niy zakon «Ustav zheleznodorozhnogo transporta Rossiiskoi Federatsii» ot 10.01.2003g. № 18-FZ]. [Electronic

resource]: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/19008>. Last accessed 21.05.2020.

3. Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., Teicholz, P. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2018. <https://doi.org/10.1002/9781119287568>.
4. Lyovin, B. A., Tsetkov, B. Ya. Cybernetics and Physical Systems for Transport Management. *World of Transport and Transportation*, 2018, Vol. 16, Iss. 2, pp. 138–145. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35215359>. Last accessed 21.05.2020.
5. Kupriyanovsky, V. P. [et al]. Economics of digital railway innovation. Experience of Great Britain [Ekonomika innovatsii tsifrovoy zheleznoi dorogi. Opyt Velikobritanii]. *International Journal of Open Information Technologies*, 2017, Vol. 5, Iss. 3, pp.79–99. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28426697>. Last accessed 21.05.2020.
6. Telyatnikova, N., Spiridonov, E., Boyarinov, D. Innovation, Informatization and Digitalization of the Infrastructure Facilities Design and Construction of High-speed Railways in Russia & Eurasian Union. Proceedings of 22nd International scientific conference. Transport Means 2018. K.: Publisher Kaunas University of Technology, 2018, pp. 1161–1166.
7. Gasnikov, A. V. [et al]. Introduction to the mathematical modelling of traffic flows: Study guide [Vvedenie v matematicheskoe modelirovanie transportnykh potokov: Ucheb. posobie]. 2nd ed., rev. and enl. Moscow, MCNMO publ., 2013, 427 p.
8. Solovyov, V. V. Analysis of Components of the Cost of Construction Products. *World of Transport and Transportation*, 2017, Vol. 15, Iss. 5, pp. 106–117. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32311911>. Last accessed 21.05.2020.
9. Volkodav, V. A., Volkodav, I. A. Development of the structure and composition of the classifier of construction information for the use of BIM technologies [Razrabotka struktury i sostava klassifikatora stroitelnoi informatsii dlya primeneniya BIM-tekhnologii]. *Vestnik MGSU*, 2020, Vol. 15, Iss. 6, pp. 867–906. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-struktury-i-sostava-klassifikatora-stroitelnoy-informatsii-dlya-primeneniya-bim-tehnologii>. Last accessed 21.05.2020.
10. Knjazuk, E. M., Mirza, N. S. The use of building classifications for information modelling of roads. *CAD & GIS of Highways*, 2017, Vol. 1 (8), pp. 13–19. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.12.1628–1637.
11. Edirisinghe, R., London, K. Comparative analysis of international and national level BIM standardization efforts and BIM adoption. Proceeding of the 32nd CIB W78 Conference. Eindhoven. The Netherlands, 2015, pp. 149–158. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/286496233_Comparative_Analysis_of_International_and_National_Level_BIM_Standardization_Efforts_and_BIM_adoption/. Last accessed 21.05.2020.
12. Balslev, H. The Reference Designation System (RDS) a common naming convention for systems and their elements. INCOSE International Symposium, 2016, Vol. 26 (1), pp. 1639–1656. DOI: 10.1002/j.2334-5837.2016.00251.
13. Sinyagov, S. A., Kupriyanovsky, V. P., Kurenkov, P. V. [et al]. Construction and engineering based on BIM standards as the basis for transformations of infrastructures in the digital economy [Sroitelstvo i inzheneriya na osnove standartov BIM kak osnova transformatsii infrastruktur v tsifrovoy ekonomike]. *International Journal of Open Information Technologies*, 2017, Vol. 5, Iss. 5, pp. 46–79. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29226715>. Last accessed 21.05.2020.





Методические подходы к предоставлению государственной поддержки развитию общественного городского пассажирского транспорта



Екатерина БРЯЗГИНА



Дмитрий КАЗЬМИН

Брызгина Екатерина Олеговна — Российский дорожный научно-исследовательский институт, Москва, Россия.

Казьмин Дмитрий Михайлович — Российский дорожный научно-исследовательский институт, Москва, Россия.*

В статье на основе анализа действующих методик определения субъектов Российской Федерации для предоставления федеральной поддержки в целях реализации мероприятий по обновлению подвижного состава общественного городского пассажирского транспорта и внедрения интеллектуальных транспортных систем в рамках национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» выделены основные подходы и принципы, которыми руководствуются федеральные органы власти при принятии решений о государ-

ственной поддержке планируемых регионами мероприятий в сфере развития городского транспорта.

Рассмотрена адекватность данных подходов для случаев, когда государственная поддержка общественного городского пассажирского транспорта должна быть оказана в экстренном порядке (в частности, в условиях резкого снижения пассажиропотока и билетной выручки, обусловленного противоэпидемическими мерами), и сформулированы некоторые предложения по корректировке указанных подходов.

Ключевые слова: транспорт, общественный городской пассажирский транспорт, организация транспортного обслуживания, бюджетные инвестиции, транспортное планирование.

*Информация об авторах:

Брызгина Екатерина Олеговна – член Ассоциации транспортных инженеров; Директор по развитию интеллектуальных транспортных систем Российского дорожного научно-исследовательского института (ФАУ «РОСДОРНИИ»), Москва, Россия, bryazgina@rosdornii.ru.

Казьмин Дмитрий Михайлович – начальник отдела методического обеспечения транспортного планирования Российского дорожного научно-исследовательского института (ФАУ «РОСДОРНИИ»), Москва, Россия, kazmin@rosdornii.ru.

Статья поступила в редакцию 18.04.2020, принята к публикации 27.08.2020.

For the English text of the article please see p. 113.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность разработки и реализации на федеральном уровне системы мер государственной поддержки развития городского пассажирского транспорта общего пользования (ПТОП) ещё в прошлом году обсуждалась экспертным сообществом [1]. Меры по обновлению подвижного состава ПТОП были включены в национальный проект «Безопасные и качественные автомобильные дороги» (НП «БКАД»); ВЭБ РФ была начата подготовка комплексной программы развития городского общественного транспорта, которая предполагает модернизацию систем перевозок и обновление парков подвижного состава в регионах России¹. Минтранс России в настоящее время продолжает проработку форм и условий оказания поддержки развитию общественного городского транспорта [2].

Сейчас, когда введение в России противоэпидемических мер вызвало резкое, по оценкам Счётной палаты Российской Федерации, до 80 %, падение пассажиропотока на ПТОП в российских городах, задача государственной поддержки городского транспорта приобретает ещё большую актуальность и, по-видимому, требует пересмотра существующих методических подходов к разработке соответствующих мер [3].

ФЕДЕРАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА РАЗВИТИЯ ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА В РЕГИОНАХ: АНАЛИЗ ДЕЙСТВУЮЩИХ МЕТОДИК

Эти существующие подходы и основные принципы, которыми руководствуются федеральные органы власти при принятии решения о государственной поддержке реализуемых в регионах мероприятий в сфере городского транспорта, можно выявить на примере анализа двух действующих методических документов:

- Порядок определения субъектов РФ для реализации мероприятия по обновлению подвижного состава наземного общественного пассажирского транспорта в рамках федерального проекта «Общесис-

темные меры развития дорожного хозяйства» НП «БКАД» [4];

- Методика оценки и ранжирования локальных проектов в целях реализации мероприятия «Внедрение интеллектуальных транспортных систем, предусматривающих автоматизацию процессов управления дорожным движением в городских агломерациях...» в рамках федерального проекта «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства» НП «БКАД» [5].

Методический подход, представленный в указанных документах, основан на рассмотрении расходов федерального бюджета на развитие ПТОП как инвестиций. Государство как инвестор стремится при поддержке реализуемых в регионах мероприятий обеспечить эффективность бюджетных вложений и снизить инвестиционные риски.

В рамках этого подхода заявки субъектов РФ на получение федеральной поддержки на обновление подвижного состава или реализацию локальных проектов интеллектуальных транспортных систем (ИТС) представляют собой аналог бизнес-планов и инвестиционных предложений: для их подготовки также необходим анализ спроса (транспортных и пассажиропотоков), оценка издержек и прогнозирование выгод (таких, как экономия времени участников движения и снижение выбросов токсичных веществ). Из указанного подхода также вытекают особенности процедуры предоставления федеральной поддержки, о которых будет сказано далее.

Прежде всего, это конкурсный порядок предоставления поддержки на основе рейтинговой системы оценки заявок субъектов РФ и удовлетворения этих заявок в порядке убывания рейтинга.

Обе упомянутые выше методики оценки заявок основываются на интегральной балльной оценке, которая получается суммированием «взвешенных» балльных оценок по отдельным показателям.

Порядок определения субъектов РФ для реализации мероприятий по обновлению подвижного состава предусматривает оценку и ранжирование заявок на основе 24 отдельных показателей, сгруппированных по следующим направлениям:

- оценка уровня развития сети газонаполнительных автозаправочных станций и многотопливных автозаправочных стан-

¹ Газета «Коммерсантъ» № 166 от 13.09.2019 г. – С. 1. [Электронный ресурс]: <https://www.kommersant.ru/doc/4089787>. Доступ 12.04.2020.



ций с возможностью заправки природным газом;

- оценка протяжённости и прироста протяжённости рельсовых путей и контактных сетей городского наземного электрического транспорта;
- оценка транспортной и ценовой доступности ПТОП, надёжности и комфортности транспортного обслуживания;
- оценка наличия и соответствия требованиям документов транспортного планирования муниципальных образований и городской агломерации;
- экспертная оценка качества подготовки заявки в части обоснованности предлагаемых мероприятий по изменению маршрутной сети ПТОП и корректности оценки социально-экономического эффекта реализации данных мероприятий.

Методика ранжирования заявок на реализацию локальных проектов ИТС, в свою очередь, предполагает оценку (на основе 47 отдельных показателей):

- функциональных возможностей предлагаемой к созданию ИТС;
- наличия у региона данных мониторинга параметров дорожного движения;
- непосредственно значения параметров дорожного движения на сети дорог (при этом больший оценочный балл получают регионы с менее благоприятной дорожной ситуацией, исходя из того, что в этом случае внедрение ИТС покажет большую эффективность);
- наличие утверждённых документов транспортного планирования, содержащих мероприятия по внедрению ИТС;
- практики администрирования организации дорожного движения в регионе (наличие уполномоченных организаций и регламентов их взаимодействия);
- финансового обеспечения внедрения ИТС со стороны регионального бюджета.

Другой важный принцип — это использование федеральной поддержки в качестве стимула для реализации регионами федеральной политики в транспортной сфере — на оценку заявки региона о предоставлении федеральной влияет степень соблюдения в регионе установленных Минтрансом требований, рекомендаций и процедур.

Так, при рассмотрении заявок на реализацию локальных проектов ИТС учитываются:

- наличие регионального Центра организации дорожного движения и уровень квалификации его сотрудников;
- выполнение на сети дорог региона мониторинга дорожного движения в соответствии с действующим Порядком мониторинга дорожного движения [6].

При рассмотрении заявок на обновление подвижного состава учитываются:

- внедрение безналичной оплаты проезда;
- внедрение «брутто-контрактации» на маршрутной сети ПТОП городской агломерации;
- обеспечение эксплуатации подвижного состава большого и особо большого класса;
- перевод маршрутной сети ПТОП на регулируемый тариф;
- соблюдение требований Социального стандарта транспортного обслуживания [7] в части соблюдения норм вместимости, обеспечения регулярности перевозок и пешеходной доступности остановочных пунктов.

Также при анализе заявок на обновление подвижного состава и реализацию локальных проектов ИТС учитывается наличие утверждённых документов транспортного планирования (Программ комплексного развития транспортной инфраструктуры и Комплексных схем организации транспортного обслуживания населения) в городских агломерациях.

Следующим ключевым принципом является принцип «устойчивого наследия», который, в первую очередь, касается инфраструктурных проектов, но применим и к мероприятиям по обновлению подвижного состава. Регион должен располагать необходимыми бюджетными средствами для обеспечения эксплуатации инфраструктуры, созданной при поддержке федерального бюджета, и её поддержания в нормативном состоянии. В обсуждаемых методиках данный принцип был реализован:

- при оценке локальных проектов ИТС рассматриваются обязательства региона по софинансированию проекта;
- при оценке заявок на обновление подвижного состава ПТОП, финансовые

обязательства принимают на себя перевозчики в форме лизинговых платежей.

Кроме того, обе методики предусматривают оценку социально-экономических эффектов реализации мероприятий, претендующих на получение федеральной поддержки. Необходимость прогнозной оценки социально-экономической эффективности предусмотренных заявками мероприятий обуславливает значительную трудоёмкость (и наукоёмкость) подготовки заявок. Для обоснования предусмотренных заявками мероприятий по корректировке маршрутной сети ПТОП или внедрения элементов ИТС необходимы большие объёмы данных о наблюдаемых и перспективных параметрах транспортного спроса и дорожного движения, многие из которых (перспективные значения временного индекса, наполнения салонов маршрутных транспортных средств и т.д.) должны рассчитываться с применением мультимодальной математической модели транспортной системы городской агломерации. Это обстоятельство ещё сильнее увязывает подготовку заявок с реализацией в регионах государственной политики в сфере транспортного планирования, которая как раз и подразумевает разработку региональных математических транспортных моделей и получение необходимых прогнозов [8].

Из указанной выше особенности вытекает необходимость оценки заявок с привлечением экспертов. Поскольку заявка представляет собой практически полноценную НИР, она требует привлечения к рассмотрению учёных и проектировщиков для оценки обоснованности предлагаемых мероприятий и оценки корректности представленных расчётов и прогнозов. Анализ заявок регионов на обновление подвижного состава ПТОП должен рассматриваться Экспертной комиссией при Минтрансе России [9]. К анализу заявок на реализацию локальных проектов ИТС должен привлекаться технический консультант — научная или проектная организация, к которой предъявляются требования по наличию в штате сотрудников с научными степенями и опыту реализации проектов в сфере транспорта, а также финансовый кон-

сультант, к которому также предъявляется ряд требований [10].

Необходимо отметить, что одной из проблем реализации перечисленных принципов при принятии решений о предоставлении федеральной поддержки проектам в сфере транспорта является отсутствие утверждённой методики оценки эффективности инвестиционных проектов, которая в полной мере учитывала бы специфику мероприятий в транспортной сфере, в частности, социально-экономические эффекты, связанные с:

- экономией времени пользователей транспортной системы;
- ускорением доставки грузов;
- повышением надёжности пассажирского и грузового сообщения;
- изменением выбросов загрязняющих веществ от передвижных источников в атмосферу;
- косвенными экономическими эффектами повышения транспортной доступности территорий (включая повышение их инвестиционной привлекательности, обеспечение доступа к услугам и рабочим местам и т.д.).

Утверждённая в конце 2019 года Методика оценки социально-экономических эффектов от проектов строительства (реконструкции) и эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры, планируемых к реализации с привлечением средств федерального бюджета, в этом отношении представляет собой шаг вперёд, так как учитывает эффекты от ускорения движения грузов и пассажиров, а также расширения зон транспортной доступности городов («агломерационный эффект»), однако при этом она не рассматривает эффекты, связанные с надёжностью сообщения, выбросами загрязняющих веществ, градостроительством и землепользованием (изменением инвестиционной привлекательности территорий) [11].

Отдельную проблему, сейчас, возможно, наиболее актуальную, представляет собой непригодность обсуждаемых методических принципов для принятия экстренных антикризисных мер поддержки ПТОП. При подготовке предложений по экстренным мерам поддержки целесообразно исходить из того, что эти меры должны будут финан-



сироваться из местных, либо в лучшем случае из региональных бюджетов, так как разработка новых или внесение изменений в существующие правила предоставления межбюджетных трансфертов и субсидий из федерального бюджета и утверждение этих правил постановлением Правительства может потребовать значительного времени.

ВЫВОДЫ

В результате рассмотрения действующих методических документов, которыми руководствуются федеральные органы власти при принятии решений о государственной поддержке реализуемых в регионах мероприятий в сфере городского транспорта, были выделены некоторые общие принципы — конкурсный порядок предоставления поддержки, использование федеральной поддержки в качестве стимула для реализации регионами федеральной политики в транспортной сфере, принцип «устойчивого наследия», оценка социально-экономических эффектов реализации мероприятий и оценка заявок с привлечением экспертного сообщества.

В случаях, когда меры поддержки ПТОП должны носить экстренный характер (как в ситуации резкого снижения пассажиропотоков в период эпидемии), перечисленные выше принципы должны быть пересмотрены, по крайней мере, частично. Первоочередные меры поддержки общественного городского пассажирского транспорта в регионах предстоит реализовать на муниципальном уровне при поддержке властей субъектов РФ и при минимальном методическом сопровождении со стороны Минтранса, поскольку централизованная разработка, согласование и «спуск» необходимых указаний и методического аппарата с федерального уровня на муниципальный не обеспечит нужной скорости принятия решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блинкин М. Я. О федеральном проекте обновления парка городского пассажирского транспорта. Выступление на рабочей группе Госсовета 21.11.2019 г. [Электронный ресурс]: <https://itetps.hse.ru/news/322615921.html>. Доступ 12.04.2020.
2. Ларионова Т. Общественный транспорт для всех и для каждого. — Транспорт России. — 20.02.2020. [Электронный ресурс]: <https://transportrussia.ru/item/5436-obshchestvennyj-transport-dlya-vsekh-i-dlya-kazhdogo.html>. Доступ 21.08.2020.
3. Счётная палата Российской Федерации, дайджест Департамента международного и регионального сотрудничества «Транспортная сфера в контексте COVID-19». [Электронный ресурс]: <https://ach.gov.ru/upload/pdf/Covid-19-transport.pdf>. Доступ 21.08.2020.
4. Порядок определения субъектов Российской Федерации для реализации мероприятия по обновлению подвижного состава наземного общественного пассажирского транспорта в рамках федерального проекта «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства» национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги»: приложение № 4 к протоколу заседания Проектного комитета НП «БКАД» от 19.11.2019 г. № 8. [Электронный ресурс]: <https://www.mintrans.gov.ru/documents/8/10293>. Доступ 21.08.2020.
5. Об утверждении Методики оценки и ранжирования локальных проектов в целях реализации мероприятия «Внедрение интеллектуальных транспортных систем, предусматривающих автоматизацию процессов управления дорожным движением в городских агломерациях, включающих города с численностью населения свыше 300 тысяч человек» в рамках федерального проекта «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства» национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги»: распоряжение Минтранса России от 31.01.2017 г. № НА-19-р. [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/564654235>. Доступ 21.08.2020.
6. Об утверждении Порядка мониторинга дорожного движения: приказ Минтранса России от 18.04.2019 г. № 114. [Электронный ресурс]: <https://ppt.ru/docs/prikaz/mintrans/n-114-216876>. Доступ 21.09.2020.
7. Социальный стандарт транспортного обслуживания населения при осуществлении перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом: распоряжение Минтранса России от 31.01.2017 г. № НА-19-р. [Электронный ресурс]: <https://www.mintrans.gov.ru/documents/8/6802>. Доступ 21.08.2020.
8. Методические рекомендации по разработке документов транспортного планирования субъектов Российской Федерации. [Электронный ресурс]: <https://www.mintrans.gov.ru/file/434789>. Доступ 21.08.2020.
9. О создании экспертной комиссии по определению субъектов Российской Федерации для реализации мероприятия по обновлению подвижного состава наземного общественного пассажирского транспорта в рамках федерального проекта «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства» национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги»: распоряжение Минтранса России от 05.02.2020 г. № ЕД-28-р. [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/564434522>. Доступ 21.08.2020.
10. Об утверждении Правил отбора инвестиционных проектов и принципалов для предоставления государственных гарантий Российской Федерации по кредитам либо облигационным займам, привлекаемым на осуществление инвестиционных проектов: Постановление Правительства Российской Федерации от 14.12.2010 г. № 1016. [Электронный ресурс]: <http://base.garant.ru/12181382/>. Доступ 21.08.2020.
11. Об утверждении Методики оценки социально-экономических эффектов от проектов строительства (реконструкции) и эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры, планируемых к реализации с привлечением средств федерального бюджета: Постановление Правительства Российской Федерации от 26.11.2019 г. № 1512. [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/563926480>. Доступ 21.08.2020. ●



Methodological Approaches to Providing State Support for Development of Public Urban Passenger Transport



Ekaterina O. BRYAZGINA



Dmitry M. KAZMIN

*Bryazgina, Ekaterina O., Russian Road Research Institute, Moscow, Russia.
Kazmin, Dmitry M., Russian Road Research Institute, Moscow, Russia*.*

ABSTRACT

The article, based on the analysis of the existing methods for selection of constituent entities of the Russian Federation to be provided with federal support in modernization of the rolling stock of public urban passenger transport and introduction of intelligent transport systems within the framework of the national project «Safe and High-Quality Highways», highlights main approaches and principles used by the federal authorities as guidelines when

making decision on the public state support of the activity planned by the regions in the field of urban transport development. The adequacy of these approaches is considered for cases when state support for public urban passenger transport should be provided on an emergency basis (in particular, under the conditions of a sharp decrease in passenger traffic and ticket revenue due to anti-epidemic measures), proposals are formulated to update these approaches.

***Keywords:** transport, public urban passenger transport, organization of transport service, budgetary investments, transport planning.*

*Information about the authors:

Bryazgina, Ekaterina O. – member of Association of Transport Engineers; Director for Development of Intelligent Transport Systems of Russian Road Research Institute (FAU ROSDORNII), Moscow, Russia, bryazgina@rosdornii.ru.

Kazmin, Dmitry M. – Head of the Department for Methodological Support of Transport Planning of Russian Road Research Institute (FAU ROSDORNII), Moscow, Russia, kazmin@rosdornii.ru.

Article received 18.04.2020, accepted 27.08.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 108.

Background. The relevance of development and implementation at the federal level of a system of measures of state support to development of public urban passenger transport (PUPT) was discussed by the expert community in 2019 [1]. Measures to modernize PUPT rolling stock were included in the national project «Safe and High-Quality Highways» (NP «BKAD»); VEB.RF (development institution) has started preparing a comprehensive program for development of urban public transport, which involves modernization of transportation systems and of rolling stock fleets in the regions of Russia¹. The Ministry of Transport of Russia is currently continuing to work out forms and conditions for supporting development of public urban transport [2].

Now, when introduction of anti-epidemic measures in Russia has caused a sharp drop in passenger traffic with PUPT in Russian cities (according to the Accounts Chamber of the Russian Federation, the drop rate was estimated at about 80 %), the task of providing state support to urban transport becomes even more urgent, and, apparently, requires a revision of existing methodological approaches to development of appropriate measures [3].

Federal support for development of urban transport in the regions: analysis of existing methods

The existing approaches and basic principles, which are used as guidelines by federal authorities when make decisions on providing state support to measures undertaken and implemented by the regions in the field of urban transport, can be identified with the example of the analysis of two existing methodological documents:

- The procedure for selecting the constituent entities of the Russian Federation for implementation of measures to modernize rolling stock of inland public passenger transport within the framework of the federal project «General system measures for development of road facilities» NP «BKAD» [4].
- Methodology for assessing and ranking local projects to implement the activity «Implementation of intelligent transport systems

providing for automation of traffic management processes in urban agglomerations...» within the framework of the federal project «General system measures for development of road facilities» NP «BKAD» [5].

The methodological approach presented in these documents is based on considering the federal budget expenditures for development of PUPT as an investment. The state, as an investor, seeks, with the support of the measures being implemented in the regions, to ensure efficiency of budgetary investments and reduce investment risks.

Within the framework of this approach, applications of the constituent entities of the Russian Federation for obtaining federal support for modernization of rolling stock or implementation of local projects of intelligent transport systems (ITS) are analogous to business plans and investment proposals: for their preparation, it is required to provide an analysis of demand (transport and passenger flows), estimating costs and predicting benefits (such as saving time for road users and reducing toxic emissions). The specifics of the procedure for providing federal support also follow from this approach, which will be discussed below.

First, this is a *competitive procedure for providing support*, based on the ranking system for evaluating applications of the constituent entities of the Russian Federation, stipulating that satisfaction of these applications is also effected in descending order of rating.

Both above-mentioned methodologies for evaluating applications are based on the integral score, which is obtained by summing the «weighted» scores for individual indicators.

The procedure for selecting constituent entities of the Russian Federation for implementation of measures to modernize rolling stock provides for assessment and ranking of applications based on 24 separate indicators grouped in the following areas:

- Assessment of the level of development of the network of gas filling stations and multi-fuel filling stations with the possibility of refueling with natural gas.
- Assessment of length and increase in length of rail tracks and contact networks of urban ground electric transport.
- Assessment of transport and price accessibility of pupt, reliability and comfort of transport services.

¹ Newspaper «Kommersant» No. 166 dated 13.09.2019, p. 1. [Electronic resource]: <https://www.kommersant.ru/doc/4089787>. Last accessed 12.04.2020.

- Assessment of availability of transport planning documents of municipalities and urban agglomeration and of their compliance with the established requirements.

- Expert assessment of quality of applications, in terms of validity of the proposed measures to change pupt route network, and of the correctness of assessment of the socio-economic effect of implementation of the measures proposed.

The methodology for ranking applications for implementation of local ITS projects, in turn, involves assessment (based on 47 individual indicators) of:

- Functionality of ITS proposed to be developed.

- Availability of data for monitoring traffic parameters in the region.

- Direct values of traffic parameters of the road network (in this case, regions with a less favourable road situation get a higher estimated score, based on the fact that in this case the introduction of ITS will show greater efficiency).

- Availability of approved transport planning documents containing measures for introduction of ITS.

- Practices of administering organization of road traffic in the region (presence of authorized organizations and regulations for their interaction).

- Financial support of introduction of ITS from the regional budget.

Another important principle is *the use of federal support as an incentive for the regions to implement federal policy in the transport sector*. Assessment of a region's application for a federal support is influenced by the degree of compliance of the region with the requirements, recommendations and procedures established by the Ministry of Transport.

So, when considering applications for implementation of local ITS projects, the following positions are considered:

- Availability of a regional Traffic Management Centre and qualification level of its employees.

- Implementation of road traffic monitoring on the road network of the region in accordance with the current Road Traffic Monitoring Procedure [6].

When considering applications for modernization of rolling stock, the following positions are considered:

- Introduction of non-cash (electronic) fare payment.

- Introduction of «gross contracting» on the route network of PUPT in urban agglomeration.

- Ensuring operation of large and especially large class [per capacity] rolling stock.

- Application of regulated tariffs at PUPT route network.

- Compliance with the requirements of the social standard of transport services [7] in terms of compliance with capacity standards, ensuring regular transportation and accessibility of stopping points for pedestrians.

Also, when analysing applications for modernization of rolling stock and implementation of local ITS projects, availability of approved transport planning documents (Programs for Integrated Development of Transport Infrastructure and Integrated Schemes for Organizing Transport Services for the Population) in urban agglomerations is considered.

The next key principle is the *principle of «sustainable legacy»*, which primarily concerns infrastructure projects, but also applies to activities for modernization of rolling stock. The region must have the necessary budgetary funds to ensure further operation of the infrastructure created with the support of the federal budget and its maintenance as provided by applied standards. In the discussed methods, this principle was implemented in the following way:

- When assessing local ITS projects, the region's obligations to co-finance the project are considered.

- When assessing applications for modernization of PUPT rolling stock, the carriers assume financial obligations in the form of lease payments.

In addition, both methods provide for *assessment of the socio-economic effects of implementation of measures* that claim to receive federal support. The need for a predictive assessment of the socio-economic efficiency of measures provided for in the applications determines the significant labour intensity (and science intensity as well) of preparing applications. To substantiate the measures envisaged by the applications for adjusting PUPT route network or introducing ITS elements, large amounts of data are needed on the observed and prospective parameters of



transport demand and traffic, many of which (prospective values of the time index, occupancy of route vehicles, etc.) should be calculated using a multimodal mathematical model of the urban agglomeration transportation system. This circumstance even more ties the preparation of applications with implementation in the regions of the public policy in the field of transport planning, which precisely implies development of regional mathematical transport models and obtaining the necessary forecasts [8].

From the above peculiarities, it follows that the applications *must be evaluated with involvement of experts*, since the application is almost a full-fledged research work, it requires the involvement of scientists and designers in its consideration to assess the feasibility of the proposed measures and assess correctness of the calculations and forecasts presented. The analysis of regional applications for updating PUPT rolling stock will be considered by the Expert Commission under the Ministry of Transport of Russia [9]. A technical consultant should be involved in the analysis of applications for implementation of local ITS projects which should be a scientific or design organization that meets requirements for its employees should have scientific degrees and experience in implementing projects in the field of transport. A financial consultant should be involved as well, who also must meet a number of requirements [10].

It should be noted that one of the problems of implementing the listed principles when making decisions on provision of federal support to projects in the field of transport is the lack of an approved methodology for evaluating effectiveness of investment projects, which would fully consider the features of measures in the transport sector, in particular, socio-economic effects, connected with:

- Saving time for the users of the transportation system [passengers].
- Acceleration of cargo delivery.
- Increasing reliability of passenger and freight traffic.
- Changes (reduction) in emissions of pollutants from moving sources into the atmosphere.
- Indirect economic effects of increasing transport accessibility of territories (including increasing their investment attractiveness, ensuring access to services and jobs, etc.).

Approved at the end of 2019, the Methodology for assessing the socio-economic effects of construction (reconstruction) and operation of transport infrastructure facilities planned for implementation with the involvement of federal budget funds is a step forward in this regard, since it takes into account the effects of accelerating movement of goods and passengers mobility, as well as expanding the zones of transport accessibility of cities («agglomeration effect»), but at the same time it does not consider the effects associated with reliability of transportation, emissions of pollutants, urban planning and land use (changes in investment attractiveness of territories) [11].

Quite a separate problem, and perhaps the most urgent one, is inability of the discussed methodological principles to provide for emergency anti-crisis measures to support PUPT. When preparing proposals for emergency support measures, it is advisable to proceed from the fact that these measures will have to be financed from local, or, at best, from regional budgets, since development of new or amending the existing rules for provision of interbudgetary transfers and subsidies from the federal budget, and approval of these rules by a government decree, can take a significant amount of time.

Conclusions. As a result of consideration of the current methodological documents, which are guidelines for the federal authorities when making decisions on providing state support to activities in the field of urban transport implemented in the regions, some general principles were identified: a competitive procedure for providing support, the use of federal support as an incentive for the regions to implement federal policy in transport sector, the principle of «sustainable legacy», assessment of socio-economic effects of implementation of activities, and assessment of applications with involvement of the expert community.

In cases where PUPT support measures should be urgent (as in a situation of a sharp decrease in passenger traffic during the [2020 Covid] epidemic situation), the principles listed above should be revised, at least in part. Priority measures to support public urban passenger transport in the regions are to be implemented at the municipal level with the support of the authorities of the constituent entities of the

Russian Federation, and with minimal methodological support from the Ministry of Transport, since centralized development, approval and «forwarding» necessary instructions and methodological apparatus from the federal level to the municipal one, will not provide the required speed of decision making.

REFERENCES

1. Blinkin, M. Ya. About the federal project on urban passenger transport park renewal. Speech at the working group of the State Council on November 21, 2019 [O federalnom proekte obnoveniya parka gorodskogo passazhirskogo transporta. Vystuplenie na rabochei grupe Gossoveta 21.11.2019]. [Electronic resource]: <https://itetps.hse.ru/news/322615921.html>. Last accessed 12.04.2020.
2. Larionova, T. Public transport for all and for everybody. Transport Rossii, 20.02.2020. [Electronic resource]: <https://transportrussia.ru/item/5436-obshchestvennyj-transport-dlya-vsekh-i-dlya-kazhdogo.html>. Last accessed 21.08.2020.
3. The Accounts Chamber of the Russian Federation, digest of the Department of International and Regional Cooperation «Transport sector in the context of COVID-19» [Schetnaya palata Rossiiskoi Federatsii, daidzhest Departamenta mezdunarodnogo i regionalnogo sotrudnichestva «Transportnaya sfera v kontekste COVID-19»]. [Electronic resource]: <https://ach.gov.ru/upload/pdf/Covid-19-transport.pdf>. Last accessed 21.08.2020.
4. The procedure for selecting the constituent entities of the Russian Federation for implementation of measures to modernize rolling stock of surface public passenger transport within the framework of the federal project «General system measures for development of road facilities» of the national project «Safe and high-quality highways»: Appendix No. 4 to the minutes of the meeting of NP «BKAD» Project Committee dated 19.11.2019, No. 8 [Poryadok opredeleniya sub'ektov Rossiiskoi Federatsii dlya realizatsii meropriyatiya po obnoveniyu podvizhnogo sostava nazemnogo obshchestvennogo passazhirskogo transporta v ramkakh federalnogo proekta «Obshchestvennye mery razvitiya dorozhnogo khozyaistva» natsionalnogo proekta «Bezopasnie i kachestvennye avtomobilnye dorogi»: prilozhenie no. 4 k protokolu zasedaniya Proektnogo komiteta NP «BKAD» ot 19.11.2019 No. 8]. [Electronic resource]: <https://www.mintrans.gov.ru/documents/8/10293>. Last accessed 21.08.2020.
5. On approval of the Methodology for assessing and ranking local projects in order to implement the action «Implementation of intelligent transport systems providing for automation of traffic management processes in urban agglomerations, including cities with a population of over 300 thousand people» within the framework of the federal project «General system measures for development of road facilities» of the national project «Safe and high-quality highways»: order of the Ministry of Transport of Russia dated 31.01.2017 No. NA-19-r [Ob utverzhdenii Metodiki otsenki i ranzhirovaniya lokalnykh proektov v tselyakh realizatsii meropriyatiya «Vnedrenie intellektualnykh transportnykh sistem, predusmatrivayushchikh avtomatizatsiyu protsessov upravleniya dorozhnym dvizheniem v gorodskikh aglomeratsiyakh, vkluchayushchikh goroda s chislennostyu naseleniya svyshe 300 tysyach chelovek» v ramkakh federalnogo proekta «Bezopasnie i kachestvennye avtomobilnye dorogi»: rasporyazhenie Mintransa Rossii ot 31.01.2017 № NA-19-r]. [Electronic

resource]: <http://docs.cntd.ru/document/564654235>. Last accessed 21.08.2020.

6. On approval of the Traffic Monitoring Procedure: Order of the Ministry of Transport of Russia dated April 18, 2019 No. 114 [Ob utverzhdenii Poryadka monitoring dorozhnogo dvizheniya: prikaz Mintransa Rossii ot 18.04.2019 № 114]. [Electronic resource]: <https://ppt.ru/docs/prikaz/mintrans/n-114-216876>. Last accessed 21.08.2020.

7. Social standard of transport services for the population in implementation of transportation of passengers and baggage by road and urban land electric transport: order of the Ministry of Transport of Russia dated 31.01.2017 No. NA-19-r [Sotsialnyi standart transportnogo obsluzhivaniya naseleniya pri osushchestvlenii perevozok passazhirov i bagazha avtomobilnym transportom i gorodskim nazemnym elektricheskim transportom: rasporyazhenie Mintransa Rossii ot 31.01.2017 № NA-19-r]. [Electronic resource]: <https://www.mintrans.gov.ru/documents/8/6802>. Last accessed 21.08.2020.

8. Guidelines for development of transport planning documents for the constituent entities of the Russian Federation [Metodicheskie rekomendatsii po razrabotke dokumentov transportnogo planirovaniya sub'ektov Rossiiskoi Federatsii]. [Electronic resource]: <https://www.mintrans.gov.ru/file/434789>. Last accessed 21.08.2020.

9. On creation of an expert commission to select the constituent entities of the Russian Federation for implementation of measures to update rolling stock of ground public passenger transport within the framework of the federal project «General system measures for development of road facilities» of the national project «Safe and high-quality highways»: order of the Ministry of Transport of Russia dated 05.02.2020 No. ED-28-r [O sozdaniy ekspertnoi komissii po opredeleniyu sub'ektov Rossiiskoi Federatsii dlya realizatsii meropriyatiya po obnoveniyu podvizhnogo sostava nazemnogo obshchestvennogo passazhirskogo transporta v ramkakh federalnogo proekta «Obshchestvennye mery razvitiya dorozhnogo khozyaistva» natsionalnogo proekta «Bezopasnie i kachestvennye avtomobilnye dorogi»: rasporyazhenie Mintransa Rossii ot 05.02.2020 № ED-28-r]. [Electronic resource]: <http://docs.cntd.ru/document/564434522>. Last accessed 21.08.2020.

10. On approval of the Rules for selection of investment projects and principals for provision of state guarantees of the Russian Federation on loans or bonded loans attracted for implementation of investment projects: Resolution of the Government of the Russian Federation dated 14.12.2010 No. 1016 [Ob utverzhdenii Pravil otbora investitsionnykh proektov i printsipalov dlya predostavleniya gosudarstvennykh garantii Rossiiskoi Federatsii po kreditam libo obligatsionnym zaimam, privlekaemym na osushchestvlenie investitsionnykh proektov: Postanovlenie Pravitelstva Rossiiskoi Federatsii ot 14.12.2010 № 1016]. [Electronic resource]: <http://base.garant.ru/12181382/>. Last accessed 21.08.2020.

11. On approval of the Methodology for assessing the socio-economic effects of construction (reconstruction) projects and operation of transport infrastructure facilities planned for implementation with involvement of federal budget funds: Resolution of the Government of the Russian Federation No. 1512 dated November 26, 2019 [Ob utverzhdenii Metodiki otsenki sotialno-ekonomicheskikh effektov ot proektov stroitelstva (rekonstruktsii) i ekspluatatsii ob'ektov transportnoi infrastruktury, planiruemykh k realizatsii s privlecheniem sredstv federalnogo byudzhet: Postanovlenie Pravitelstva Rossiiskoi Federatsii ot 26.11.2019 No. 1512]. [Electronic resource]: <http://docs.cntd.ru/document/563926480>. Last accessed 21.08.2020.





Сравнительные оценки конкурентоспособности пассажирских перевозок



Филимонова Зоя Васильевна — Российский университет транспорта, Москва, Россия.*

Зоя ФИЛИМОНОВА

В статье приведены методические принципы и результаты анализа ключевых экономических показателей по перевозкам пассажиров железнодорожным транспортом в крупнейших странах мира (Франция, Германия, США, Япония, КНР и Индия) в сравнении с аналогичными показателями в России с целью определения эталонных объектов для проведения оценки конкурентоспособности сегмента пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте в России.

Кратко проанализированы основные специфические черты железнодорожных комплексов каждой из рассматриваемых стран. Для достижения нагляд-

ности результатов анализа было произведено укрупнение объектов исследования по территориальному признаку, т.е. представлены результаты не отдельных компаний, а стран, на территории которых компании осуществляют свою деятельность.

Произведён расчёт качественных показателей перевозочной деятельности по каждой из рассмотренных стран. В ходе работы была составлена матрица, определённым образом отражающая текущую ситуацию, связанную с развитием пассажирских железнодорожных перевозок. Даны рекомендации по выбору эталонного объекта в зависимости от заданных критериев сравнения.

Ключевые слова: конкурентоспособность, пассажирские перевозки, железнодорожный транспорт, эталонный объект, зарубежный опыт.

*Информация об авторе:

Филимонова Зоя Васильевна – старший преподаватель Российского университета транспорта, Москва, Россия, zoya.v.filimonova@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 21.05.2019, актуализирована 24.08.2020, принята к публикации 08.09.2020.

For the English text of the article please see p. 126.

Для оценки конкурентоспособности изучаемого объекта необходимо предварительно определить базовый эталонный объект. Выбор эталона важен для получения достоверного, соответствующего поставленным целям, практического результата. В качестве эталона может быть принят мировой стандарт или лучший отечественный образец. Применительно к оценке конкурентоспособности перевозок на железнодорожном транспорте эталоном могут выступать зарубежные компании, оказывающие услуги по перевозке данным видом транспорта в той или иной стране. Что касается отечественного опыта, то целесообразно принимать во внимание сравнительную оценку текущих показателей с лучшими значениями аналогов за анализируемый период [1].

В данной статье рассмотрены ключевые параметры и результаты деятельности железнодорожных пассажирских компаний ряда стран Европы, Азии и Северной Америки за 2017–2019 гг. Анализ проведён с целью определения эталона и дальнейшего его применения для сравнения с показателями и факторами конкурентоспособности российских железнодорожных компаний в сегменте пассажирских перевозок.

Железнодорожный транспорт относится к категории капиталоемких отраслей экономики, в первую очередь, по причине значительных потребных капитальных затрат на развитие и модернизацию инфраструктуры. В мировом сообществе современная развитая железнодорожная система рассматривается как базис экономического процветания страны. При этом, к сожалению, в некоторых развивающихся странах железнодорожные пути либо до недавнего времени отсутствовали, либо из-за недостатка инвестиций в обновление основных средств действующие объекты постепенно приходили в негодность, пассажиропоток падал; есть страны, где строительство железных дорог осложнено экономическими или природными условиями. В то же время большинство стран с лучшими показателями экономического роста стремится строить новые железнодорожные линии, повышать скоростные режимы, а также продвигать на рынке транспортных услуг железнодорожные пассажирские перевозки на различные расстояния как самый комфортный, без-

опасный, быстрый, недорогой и, главное, экологичный способ передвижения [2].

В мировой статистике структура пассажирооборота по видам транспорта выглядит следующим образом: железнодорожный транспорт — 10 % от общего объёма, автомобильный — 80 % и воздушные пассажирские перевозки — около 9 % [3]. Удельный вес железнодорожных перевозок пассажиров невелик, однако, стоит уточнить, что эта статистика охватывает все страны мира, включая те, где данный вид транспорта отсутствует.

Причины столь большого удельного веса автомобильных пассажирских перевозок в структуре мирового пассажирооборота:

- отсутствие конкурентного рынка — во многих странах нет альтернативных способов передвижения;
- высокая манёвренность и возможности перевозки пассажиров «от двери до двери»;
- многократные поездки пассажиров с невысокой дальностью, но в значительных масштабах по количеству в годовом выражении.

В России железнодорожный транспорт выполняет 44 % пассажирооборота всех видов транспорта, что говорит о его важнейшем значении для экономики страны [4]. В Программе развития транспорта до 2030 года ставятся задачи создания сети современных скоростных и высокоскоростных магистралей в Центральной части России, а при обсуждении других проектов развития отрасли затрагиваются перспективы вариантов их строительства в других регионах страны и за её пределами. Также одной из менее амбициозных, но не менее важных задач является повышение населённости вагона. Выход на показатели самокупаемости и финансовой устойчивости возможен только при увеличении пассажиропотоков, поэтому для пассажирских железнодорожных компаний ключевой задачей является поиск решений для привлечения большего числа потребителей транспортных услуг, в том числе и с учётом опыта аналогичной деятельности зарубежных партнёров. Консолидировать зарубежный опыт с целью применения его на российских дорогах предложено на основе ряда критериев.



Для анализа были определены страны по двум критериям:

1. Первая группа — ведущие экономики мира с развитыми транспортными системами: США, Франция и Германия [5].

2. Вторая группа — страны, имеющие высокие показатели развития железнодорожной отрасли за последнее десятилетие:

- Китайская Народная Республика (КНР) занимает лидирующее место в мире по строительству новых железнодорожных путей и вводу подвижного состава;

- Япония — страна, где железнодорожный транспорт имеет лучшие показатели ежегодного пассажиропотока и пассажирооборота;

- Индия — страна, где железнодорожный транспорт находится на этапе быстрого развития и уже сейчас занимает второе место в мире по объёму пассажиропотоков.

Железнодорожная сеть России уникальна по своему устройству, расположению, задачам и проблемам. Её невозможно сравнить комплексно ни с одной другой транспортной системой — будут отличаться технические, технологические, управленческие, географические, экономические и иные параметры. Однако можно выявить общие векторы развития.

Так, в Японии железнодорожный транспорт является самым популярным для населения способом передвижения. Высокий уровень развития транспорта обеспечивает конкурентная борьба между транспортными компаниями, выполняющими железнодорожные пассажирские перевозки [6]. В 1987 году японские национальные железные дороги были разделены на 8 компаний, 6 из которых выполняют пассажирские перевозки [7]. Помимо них существуют и другие перевозчики, а также частные линии железных дорог. В стране нет единого стандарта ширины колеи. Так, общая протяжённость железных дорог составляет 27 182 км, из которых около 22 тыс. км имеют ширину колеи 1067 мм, 4 тыс. км — 1435 мм, 100 км — 1372 мм и 48 км — 762 мм [8].

Первая в мире линия высокоскоростного сообщения (ВСМ) общественного пользования появилась в Японии. Движение на участке Токио—Осака было открыто в октябре 1964 после пяти лет строительства [9]. Магистраль назвали «Токайдо», длина трассы

составила 515,4 км при максимально допустимой скорости движения поездов 210 км/ч. Затраты на строительство магистрали полностью окупались к 1971 году, поэтому имея столь успешный опыт, властями было принято решение о создании целой сети высокоскоростного сообщения, которая получила название Shinkansen (Синкансэн). Синкансэн имеет европейскую ширину колеи — 1435 мм.

В КНР создана крупнейшая в мире сеть высокоскоростных железных дорог. Их общая протяжённость уже достигла показателя 16 тысяч км при общей протяжённости железных дорог страны порядка 112 тыс. км. В Стратегии развития транспорта Китая к 2050 году протяжённость дорог должна составить 270 тыс. км [10]. Увеличение сети дорог более чем в два раза для страны — реально достижимая задача, поскольку первый проект строительства ВСМ в стране был утверждён в 1996 году, а уже в 2012 году протяжённость сети ВСМ составила свыше 7 тысяч километров [11]. Начиная с 2014 года, началась вторая волна активного строительства высокоскоростных линий, позволившего более чем в два раза увеличить их протяжённость¹.

В отличие от Японии, в КНР перевозки как пассажирские, так и грузовые, осуществляет одна китайская государственная компания China Railways².

В табл. 1 приведена структура внутреннего пассажирооборота исследуемых транспортных систем.

В США, Германии, Индии и Франции внутренний пассажирооборот осуществляется, главным образом, посредством автомобильного транспорта, то есть с использованием автобусов и личных автомобилей. На них приходится более 80 % от общего пассажирооборота. В КНР железнодорожный и автомобильный транспорт по данному показателю практически имеют паритет. В России наибольший пассажирооборот во внутренних перевозках приходится на авиационный транспорт — свыше 50 %. В Японии, наоборот, железнодорож-

¹ По данным CGTN, протяжённость ВСМ в КНР в феврале 2020 года достигала 36 тыс. км. (<https://news.cgtn.com/news/2020-10-01/From-nobody-to-somebody-China-s-high-speed-rail-in-numbers-Udm6mE3qqA/index.html>). — прим. ред.

² China State Railway Group Co., Ltd. — прим. ред.

Таблица 1

Структура внутреннего пассажирооборота по странам в 2019 г., %

Страна	железные дороги	авиа	авто	иное
Россия	23,4	52,6	23,9	0,1
США	0,3	10,8	74,1	14,8
КНР	34,1	19,2	41,3	5,4
Германия	24,6	20,9	46,5	8,0
Индия	12,6	7,9	73,0	6,5
Япония	63,7	15,2	13,9	7,2
Франция	11,5	5,3	76,1	7,1

Источники: [15], [21], [22], [23].

Таблица 2

Ключевые показатели перевозочной деятельности
пассажирского комплекса по странам за 2017–2019 гг.

Страна	Объёмные показатели						Качественные показатели						
	2017		2018		2019		2017	2018			2019		
	Пассажиропоток, млн чел.	Пассажирооборот, млрд пасс.-км	Пассажиропоток, млн чел.	Пассажирооборот, млрд пасс.-км	Пассажиропоток, млн чел.	Пассажирооборот, млрд пасс.-км	Средняя дальность, км	Пассажиропоток, млн чел.	Пассажирооборот, млрд пасс.-км	Средняя дальность, км	Пассажиропоток, млн чел.	Пассажирооборот, млрд пасс.-км	Средняя дальность, км
Россия	1117,9	122,9	1157,2	129,4	1197,8	133,4	109,9	0,35 %	5,3 %	111,8	0,37 %	3,10 %	111,4
США	32,0	10,2	31,8	10,6	32,7	10,4	318,75	-0,63 %	3,9 %	333,3	2,83 %	-1,88 %	318,0
КНР	1657	685,2	1793	681,2	1845	682,4	413,52	8,2 %	-0,58 %	380,0	2,8 %	0,17 %	374,2
Германия	2055	77,5	2068	79,5	2100	79,8	37,7	0,65 %	2,6 %	38,4	0,15 %	0,38 %	38,1
Индия	8116	1149,8	8286	1177,7	8320	1180,1	141,7	2,10 %	0,24 %	142,1	0,40 %	0,20 %	141,8
Япония	2270,4	390,6	2237,2	403,7	2300,4	398,4	172,0	-1,46 %	3,35 %	180,5	2,82 %	-1,31 %	173,2
Франция	1252	93,3	1241	93,7	1238	94,2	74,5	-0,88 %	0,43 %	75,5	-0,24 %	0,53 %	76,1

Источник: <https://uic-stats.uic.org/> [21]. Качественные показатели рассчитаны автором статьи.

ные перевозки являются основным видом транспорта для перевозки пассажиров – пассажирооборот порядка 63 %. Как показывает анализ, в мировой транспортной системе нет унифицированной структуры пассажирооборота.

Средняя величина пассажиропотока и грузооборота на железнодорожном транспорте в каждой стране имеет своё значение. На эти показатели комплексно оказывают влияние различные социальные, географические, экономические и технологические параметры. Наиболее важные из них – протяжённость сети и уровень благосостояния граждан. Однако, выделять какой-либо один фактор как преобладающий, нецелесообразно. Так, наибольший пассажиропоток приходится на Японию, где численность населения примерно 126 млн человек, то есть значительно меньше, чем в США, КНР или Индии. А в стране с самой большой протяжённостью сети (России) пассажирооборот в разы меньше, чем в Китае, Индии и Японии.

В табл. 2 приведены ключевые показатели функционирования пассажирского

комплекса за 2017–2019 гг. в разрезе анализируемых стран.

Динамика изменения ключевых показателей перевозочной деятельности пассажирского комплекса имеет как общие для всех стран тенденции, так и уникальные для каждой отдельной страны особенности. Например, значения показателя средней дальности поездки одного пассажира за 2017–2019 гг. практически не изменялись в США, Германии, Индии, Японии и Франции. Это говорит о том, что в данных странах за рассмотренный период не было существенных изменений в структуре пассажиропотоков. Другая ситуация в КНР, где за период с 2017 по 2019 годы средняя дальность уменьшилась на 50 км. Это объясняется вводом в эксплуатацию железнодорожных линий и появлением новых станций, позволяющих пассажирам чаще пользоваться железнодорожным транспортом для совершения поездок на короткие расстояния. Об этом свидетельствует и пассажиропоток, который за два года вырос на 10,2 % – с 1657 млн чел. в 2017 г. до 1845 млн чел. в 2019 г.



Основные показатели деятельности пассажирского комплекса за 2019 год

Показатель	Россия	США	КНР	Германия	Индия	Япония	Франция
Пассажирооборот на душу населения, пасс.-км/чел.	910,51	30,46	486	959,72	850,7	3 220	1396
Доходы компаний от осуществления пассажирских перевозок ж.д. транспортом, млн долл.	236,9	2841	—	19059	—	41084	13355
Парк пассажирских вагонов, ваг.	23447	6240	61875	5192	56890	1140	3163
Транспортная обеспеченность страны, км/10000 чел.	5,84	4,58	0,48	4,02	0,53	1,34	4,34

Источники: [21], [24], [16], расчёты автора статьи.

Динамика пассажирооборота обычно напрямую зависит от количества перевезённых пассажиров. В 2019 году рост обоих рассматриваемых показателей был зафиксирован в России, Германии, Индии и КНР. В остальных же странах наблюдается расхождение в динамике пассажиропотока и пассажирооборота стран. Так, например, в Японии в 2019 году был зафиксирован приток пассажиров на сеть, однако пассажирооборот снизился по причине уменьшения средней дальности одной поездки.

Во Франции при уменьшении пассажиропотока в 2019 году на 0,3 % пассажирооборот вырос на 0,5 %, а в США, наоборот, в том же году при росте пассажиропотока почти на 2 % пассажиропоток показал отрицательную динамику. Причины таких расхождений необходимо искать, в первую очередь, в проводимых маркетинговых и ценовых программах пассажирских компаний-перевозчиков.

Ключевые показатели функционирования пассажирского комплекса исследуемых транспортных систем приведены в табл. 3.

При сравнительном анализе пассажирооборота на душу населения страны наибольшие показатели зафиксированы в Японии — 3220 пасс.-км/чел. Как было выявлено ранее, это связано с особой популярностью железнодорожного транспорта (в том числе маглева) у жителей этой страны. Также совокупный доход от пассажирской деятельности всех железнодорожных компаний в Японии составил порядка 41 млрд долларов, что представляет собой наибольший результат из предложенной выборки. Транспортная сеть Японии уже достигла того этапа, когда необходимо лишь поддержание работы отрасли на заданном уровне. Если использовать терми-

нологию бостонской матрицы (Boston Consulting Group (BCG))³, это безусловно категория «звёзды» на протяжении десятков лет, и при нивелировании всех рисков, особенно технологического и инновационного характера, железнодорожные перевозки так и будут продолжать оставаться на достигнутых позициях.

В странах Западной Европы — Франции и Германии уровень транспортной обеспеченности находится в одном диапазоне: между 4 и 4,5 км/10000 чел. Другие показатели также подтверждают устойчивый спрос. При этом видно, что железные дороги Германии имеют больший спрос на короткие расстояния, о чём свидетельствует меньшая величина пассажирооборота на душу населения при большем парке вагонов и больших доходах, чем во Франции. Видно, что пассажиры предпочитают использовать железнодорожный транспорт для совершения коротких поездок. Это говорит о высоком уровне мобильности граждан и о том, что в существующих условиях развития транспортной сети железнодорожный транспорт используется эффективно. Об этом также свидетельствуют стабильные значения пассажирооборота, представленные ранее.

Во Франции акцент в деятельности железнодорожного пассажирского комплекса смещается в сторону дальних поездок, в том числе за пределы территории страны. Как результат, средняя величина пассажирооборота на 1 жителя почти в 1,5 раза выше, чем в Германии. Тем не менее, в обе-

³ Так называемая «The Growth Share Matrix» Бостон Консалтинг Груп (<https://www.bcg.com/ru-ru/about/our-history/growth-share-matrix>), терминологию и подходы которой далее использует автор, предполагает соотнесение доли рынка и роста, выделяя ячейки «звезда», «дойная корова», «знак вопроса», «домашний питомец». — прим. ред.

их странах железнодорожный транспорт в сегменте пассажирских перевозок занимает позицию «дойной коровы», стабильно приносящей определённый уровень прибыли. Однако, для увеличения доли железнодорожного транспорта, необходимо реализовывать крупные инфраструктурные проекты — строительство новых магистралей.

Результаты проведённого сравнительного анализа показывают, с одной стороны, сходное состояние транспортных систем Индии и КНР — значения парка пассажирских вагонов сопоставимы, а транспортная обеспеченность страны в расчёте на численность населения меньше по сравнению с другими странами. Тем не менее, существует одно существенное различие — в Индии нет ни скоростного, ни высокоскоростного железнодорожного сообщения, в то время как в КНР линии ВСМ имеют самую большую протяжённость в мире. Современные скоростные поезда привлекают пассажиров, поэтому удельный вес железнодорожного транспорта в КНР составляет свыше 30 % всего внутреннего пассажирооборота страны. А в Индии этот показатель чуть превышает отметку в 10 %.

Железнодорожные пассажирские перевозки в Индии — это «питомцы», которые требуют колоссальных инвестиций в инфраструктуру и подвижной состав, однако имеют высокие риски не получить соответствующий вложениям спрос на услуги по перевозке. В КНР пассажирские перевозки на железнодорожном транспорте — «звёзды», которые ещё несколько лет назад были «знаком вопроса», и государственная политика направлена на укрепление их позиций в будущем.

В США во второй половине XX века сложилась уникальная ситуация, когда со стороны государства ставилась задача снижения роли железнодорожного транспорта и перераспределения пассажиропотоков на другие виды транспорта. Несмотря на то, что в стране существует самая протяжённая сеть железных дорог в мире, доля железнодорожного транспорта в общем пассажирообороте составляет менее 1 %. Страна с ведущей экономикой мира практически не имеет линий скоростного и высокоскоростного сообщения (последние события показывают, что ситуация меняется). По

классификации BCG, железнодорожные пассажирские перевозки в США — это «питомцы». Однако всё чаще поднимается вопрос о недооценённости данного вида транспорта в современных условиях. Об этом говорит высокий уровень доходов — порядка 2,8 млрд долларов при среднем пассажиропотоке 32,7 млн человек в год и средней дальности 318 км.

Позиции исследуемых транспортных систем в Бостонской матрице, как они представляются автору, и при всей условности подобного позиционирования приведены на рис. 1.

Анализ ключевых показателей деятельности компаний железнодорожного транспорта, оказывающих услуги по перевозке пассажиров в Японии, КНР, Франции, Германии, Индии, США, показал, как различается отношение государственных органов власти и бизнеса к вопросам развития и популяризации железных дорог и какие получаются на выходе результаты.

Сравнив полученные выводы рассмотренных стран с существующей железнодорожной системой России, можно провести аналогию с каждой из них, но только по одному какому-либо направлению. Так, российские железные дороги в пассажирском сегменте имеют высокий потенциал к развитию и значительному росту своих экономических показателей. С другой стороны, регулируемые государством социальные тарифы, как в Индии, делают пассажирские перевозки экономически убыточными, что ограничивает возможности качественного роста уровня перевозок. Уровень доходов от перевозки пассажиров в России и Индии в десятки раз ниже этого показателя остальных исследуемых стран [3].

Рассмотренные страны Западной Европы и Япония эффективно используют железнодорожный транспорт для осуществления перевозок пассажиров на короткие расстояния (до 100 км) между крупными агломерациями. Их позитивный пример можно сравнить с реализуемыми в России проектами — вводом в эксплуатацию МЦК (Московское центральное кольцо) и реализацией проекта МЦД (Московские центральные диаметры). Однако, использование опыта Франции, Германии и Японии будет некорректным при оценке



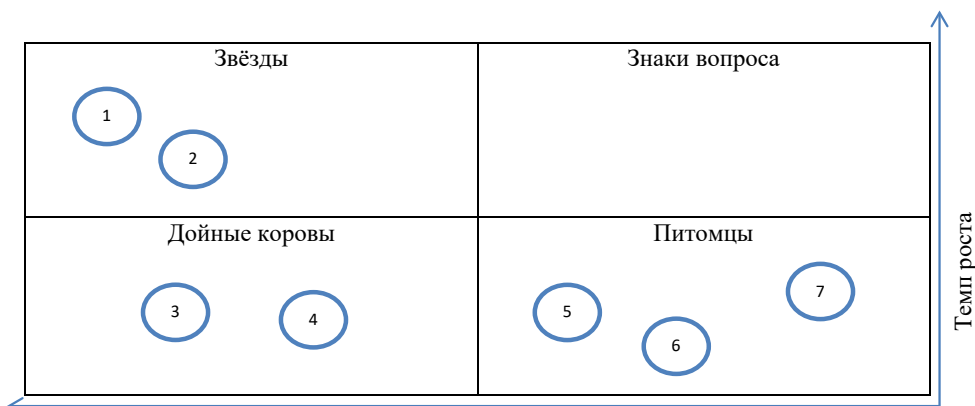


Рис. 1. 1 – Япония, 2 – КНР, 3 – Германия, 4 – Франция, 5 – Россия, 6 – Индия, 7 – США. Построение Бостонской матрицы мировых железнодорожных компаний, осуществляющих пассажирские перевозки.

конкурентоспособности железнодорожных перевозок на дальние расстояния.

Китайские железные дороги продемонстрировали лучшую динамику по всем показателям, благодаря успешной реализации Программы развития железнодорожного транспорта. Это было достигнуто благодаря реализации крупных инвестиционных проектов и большому пассажиропотоку, естественно созданному за счёт высокой плотности населения крупных агломераций. В целом опыт китайских железных дорог как эталона возможно использовать при оценке конкурентоспособности сегмента железнодорожных пассажирских перевозок в России и поиске решений по её повышению. Однако стоит отметить тот факт, что в условиях, ограниченных экономическими факторами, российские железные дороги не могут позволить себе реализацию масштабных проектов по организации высокоскоростного движения соответствующей протяжённости в столь короткие сроки. Также в России нельзя ожидать темпов роста пассажиропотоков, аналогичных китайским результатам, поскольку показатели плотности и численности населения в стране значительно различаются, а это ведёт к увеличению периода окупаемости строительства, что, в свою очередь, влияет на возможность привлечения средств, инвестируемых в проект.

ВЫВОДЫ

В результате проведённого исследования было выявлено, что железнодорожные компании, осуществляющие пассажирские перевозки в Индии и США, не подходят в качестве эталона для оценки конкуренто-

способности аналогичных компаний в России по причине низких значений пассажиропотоков в сравнении с другими видами транспорта. Для улучшения показателей компаниям этих стран необходима реализация крупных инновационных проектов и решение иных внутренних проблем, ограничивающих рост пассажиропотоков.

Использование в качестве эталонных результатов деятельности пассажирских компаний экономических моделей Франции и Германии целесообразно для локальных проектов (до 150 км). Компании Японии целесообразно рассматривать только при оценке конкурентоспособности скоростных и высокоскоростных перевозок, поскольку в этой стране весь железнодорожный пассажирский транспорт представлен в данном сегменте.

Анализ показал, что для оценки конкурентоспособности межрегиональных пассажирских перевозок российских железнодорожных компаний в качестве эталона наиболее целесообразно использовать данные, предоставляемые компанией China Railways, осуществляющей свою деятельность в КНР. В стране активно развивается железнодорожный транспорт. Реализация программы развития является экономически эффективной, и она нацелена на создание транспортной сети, соединяющей удалённые друг от друга регионы страны. В России у железнодорожной отрасли аналогичные цели и задачи, поэтому позитивные результаты, полученные в Китае, возможно использовать с наименьшей погрешностью в качестве эталона.

Согласно исследованиям, результаты которого приведены в монографии [1], эко-

номическая модель повышения конкурентоспособности перевозок и транспортных компаний, их реализующих, включает в себя ряд подсистем: формирование и развитие экономико-технологического потенциала, исследование и мониторинг экономической конъюнктуры рынков, развитие финансового потенциала и механизмов привлечения инвестиций, а также совершенствование кадрового и управленческого потенциала.

В разрезе данных подсистем заслуживают оценки в качестве эталонных подходы, методы и темпы внедрения технологических инноваций в Китайской Народной Республике, системы адаптивного регулирования перевозочного процесса на железных дорогах Франции, механизмы роста финансового потенциала США и Японии, методы управления и развития кадрового потенциала Германии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Терёшина Н. П. Демонполизация, дерегулирование и конкурентоспособность железнодорожного транспорта России. — М.: МИИТ, 2009. — С. 55–57.
2. Терёшина Н. П., Филимонова З. В. Экономическая оценка выбора транспорта как фактора роста региональной мобильности населения / Сб. трудов межд. научно-практич. конф. «Современные проблемы управления экономикой транспортного комплекса России: конкурентоспособность, инновации и экономический суверенитет». — Москва, 28–29 мая 2015 г. — С. 343–346.
3. Материалы International Transport Forum 2012. [Электронный ресурс]: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/13keystat2012.pdf>. Доступ 06.09.2020.
4. Терёшина Н. П., Жаков В. В. Современные аспекты управления конкурентоспособностью транспортных систем / Материалы X международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2017». — Российская академия наук, 2017. — С. 114–116.
5. Quarterly rail passenger transport performance, EU-28, 2013–2017 [Электронный ресурс]: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Railway_passenger_transport_statistics_-_quarterly_and_annual_data#Rail_passengers_transport_performance_continued_to_increase_in_2017. Доступ 06.09.2020.
6. Consumer Price Index (CPI) of public transportation in Japan from 2012 to 2017. The Statistics Portal. [Электронный ресурс]: <https://www.statista.com/statistics/662863/japan-public-transport-consumer-price-index/>. Доступ 06.09.2020.
7. East Japan Railway Company. [Электронный ресурс]: https://www.jreast.co.jp/E/investor/ar/2014/pdf/ar_2014_all.pdf. Доступ 06.09.2020.
8. West Japan Railway Company. [Электронный ресурс]: https://www.westjr.co.jp/global/en/ir/library/annual-report/2014/pdf/jr_west_annual_report_2014.pdf. Доступ 06.09.2020.
9. Central Japan Railway Company. [Электронный ресурс]: https://global.jr-central.co.jp/en/company/ir/annualreport/_pdf/annualreport2014.pdf. Доступ 06.09.2020.
10. Годовой отчёт железных дорог КНР за 2016 г. [Электронный ресурс]: <https://english.crcc.cn/Portals/0/AttachUpload/pdf/2017042717442966.pdf>. Доступ 06.09.2020.
11. Regional Economic Impact Analysis of High Speed Rail in China. Main Report, June 25, 2014, pp. 56–73.
12. Годовой отчёт ОАО «РЖД» за 2014 год. [Электронный ресурс]: <http://ar2014.rzd.ru/ru>. Доступ 06.09.2020.
13. Ollivier, G.; Bullock, R.; Ying, Jin; Nanyan, Zhou. High-Speed Railways in China: A Look at Traffic. China Transport Topics, World Bank Office, Beijing, December 2014, No. 11, pp. 1–12. [Электронный ресурс]: <http://documents.worldbank.org/curated/en/451551468241176543/pdf/932270BRI0Box30ffic020140final000EN.pdf>. Доступ 06.09.2020.
14. Railway passengers – Country rankings. The world energy mix for electricity generation. The global economy. [Электронный ресурс]: https://www.theglobaleconomy.com/rankings/Railway_passengers/. Доступ 06.09.2020.
15. Passenger transport statistics. [Электронный ресурс]: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Passenger_transport_statistics#Rail_passengers. Доступ 06.09.2020.
16. Share of Deutsche Bahn AG and competitors in the transport performance in regional rail transport in Germany from 2005 to 2016 (in percentage of passenger kilometers). The Statistics Portal. [Электронный ресурс]: <https://www.statista.com/statistics/934567/market-shares-transport-performance-regional-rail-transport-germany/>. Доступ 06.09.2020.
17. Годовой отчёт железных дорог Индии за 2014–2015 годы. [Электронный ресурс]: https://www.indianrailways.gov.in/railwayboard/uploads/directorate/stat_econ/IRSP_2014-15/IR_Annual_Report%20%26%20Accounts_2014-15/Finance.pdf. Доступ 06.09.2020.
18. Материалы Международного транспортного форума / International Transport Forum 2014. [Электронный ресурс]: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/14keystat2013.pdf>. Доступ 06.09.2020.
19. Материалы Международного транспортного форума / International Transport Forum 2015. [Электронный ресурс]: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/15keystat2014.pdf>. Доступ 06.09.2020.
20. High Speed Rail in India. Selection of corridors and Impacts on energy and emissions. International Transport Forum Roundtable on the Economics of investments in HSR. December 18–19th, 2013. [Электронный ресурс]: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/india-pal.pdf>. Доступ 06.09.2020.
21. Railis UIC Statistics. [Электронный ресурс]: <https://uic-stats.uic.org/select/>. Доступ 06.09.2020.
22. EU Transport in Figures – Statistical Pocketbook 2019. [Электронный ресурс]: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/pocketbook-2019.pdf>. Доступ 06.09.2020.
23. Railway Market Analysis Germany 2019. [Электронный ресурс]: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/EN/BNetzA/PressSection/ReportsPublications/2019/RailwayMarketAnalysis2019.pdf?__blob=publicationFile&v=1. Доступ 06.09.2020.
24. The Knoema Data Workflow. [Электронный ресурс]: <https://knoema.ru/>. Доступ 06.09.2020.
25. Годовой отчет ОАО «РЖД» за 2019 год. Пассажирские перевозки. — С. 52–63. [Электронный ресурс]: https://ar2019.rzd.ru/pdf/ar/ru/performance-overview_analysis-operating-results_passenger-transportation.pdf. Доступ 06.09.2020.





Comparative Assessment of Competitiveness of Passenger Transportation



Filimonova, Zoya V., Russian University of Transport, Moscow, Russia.*

Zoya V. FILIMONOVA

ABSTRACT

The article presents the methodological principles and results of the analysis of key economic indicators for transportation of passengers by rail in the largest countries of the world (France, Germany, USA, Japan, China, and India) in comparison with similar indicators in Russia to determine reference objects for assessing competitiveness of the segment of rail passenger transportation in Russia.

Features of railway systems of the countries under consideration have been briefly analysed. To better demonstrate the results of the

analysis, the study objects were enlarged following territorial criterion, i.e., the results are presented not for individual companies, but for the countries where the companies operate.

The calculation of quality indicators of transportation activities for each of the countries considered has been carried out resulted in compilation of a matrix reflecting to some extent the current situation in development of passenger railway transportation. Recommendations have been formulated on the choice of reference objects depending on the specified criteria of comparison.

Keywords: competitiveness, passenger transportation, railway transport, reference object, foreign experience.

*Information about the author:

Filimonova, Zoya V. – Senior Lecturer of Russian University of Transport, Moscow, Russia, zoya.v.filimonova@gmail.com.

Article received 21.05.2019, revised 24.08.2020, accepted 08.09.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 118.

Background. To assess competitiveness of the object under a study, it is necessary to first determine a corresponding base reference object. The choice of a reference is important for obtaining a reliable, practical result corresponding to the objectives set in the study. Usually, a world standard or the best domestic sample can be taken as a reference. Regarding assessment of competitiveness of rail transportation, foreign companies of that mode of transport that provide transportation services in a particular country can serve as a reference object. As for the domestic experience, it is advisable to consider comparative assessment of current indicators with the best values of analogues for a given analysed period [1].

This article examines the key parameters and results of the activities of railway passenger companies for 2017–2019 in several countries in Europe, Asia, and North America. The analysis was carried out to determine the reference and its further application for comparison with the indicators and factors of competitiveness of Russian railway companies in the passenger transportation segment.

Railway transport belongs to the category of capital-intensive sectors of the economy, primarily due to significant capital expenditures required for development and modernization of infrastructure. In the world community, a modern developed railway system is considered as the basis for the country's economic prosperity. In some developing countries, railways have been either absent till recently, or existing facilities have been gradually deteriorating, passenger flow has been falling due to a lack of investment in renovation of fixed assets; there are countries where railway construction is constrained by economic reasons or natural geographic conditions. At the same time, most of the countries with the best indicators of economic growth are striving to build new railway lines, increase speed limits, and promote railway passenger transportation for various distances on the market of transportation services as the most comfortable, safe, fast, inexpensive and, most importantly, environmentally friendly mode of transportation [2].

In world statistics, the structure of passenger turnover by mode of transport is as follows: the share of railway transport is equal to 10 % of the total volume, 80 % belong to road transport, and the share of air passenger transportation is about 9 % [3]. The share of railway passenger transportation is small; however, it is worth clarifying that these statistics cover all countries of

the world, including those where this mode of transport is absent.

The reasons for such a large share of road passenger transportation in the structure of world passenger turnover are as follows:

- lack of a competitive market: in many countries alternative modes of transportation are missing;
- high manoeuvrability and ability to transport passengers «from door to door»;
- repeatable short distance trips of passengers, that thanks to their multiplicity constitute considerable value in annual terms.

In Russia, railway transportation accounts for 44 % of the passenger turnover of all modes of transport, which indicates its critical importance for the country's economy [4]. The Transport Development Program until 2030 sets the tasks of developing a network of modern speed and high-speed railways in the central part of Russia. Discussions on other industry development projects touch upon outlooks for variants of their development in other regions of the country and beyond. A less ambitious, but no less important, task is to increase the occupancy of passenger cars. The achievement of financial self-sufficiency and stability indicators is possible only with an increase in passenger flow, therefore, for passenger railway companies, the key task is to find solutions to attract a larger number of consumers of transportation services, considering particularly the experience of similar activities of foreign partners. It is proposed to consolidate global experience to apply it at Russian railways based on a number of criteria.

For the analysis, countries were identified according to two criteria:

1. First group. Leading world economies with developed transportation systems: the USA, France, and Germany [5].

2. Second group. Countries with high indices of development of railways over the past decade:

- The People's Republic of China (PRC) takes a leading position in the world in construction of new railway lines and commissioning of new rolling stock.
- Japan as the country where railway transportation has got the best indicators of annual passenger traffic and passenger turnover.
- India as the country where railway transport is rapidly developing and is already second in the world in terms of passenger flows.

The railway network in Russia is unique in its structure, location, tasks, and problems. Indeed,



Table 1

Structure of internal passenger turnover by countries in 2019, %

Country	Railway	Air	Road	Other
Russia	23,4	52,6	23,9	0,1
USA	0,3	10,8	74,1	14,8
PRC	34,1	19,2	41,3	5,4
Germany	24,6	20,9	46,5	8,0
India	12,6	7,9	73,0	6,5
Japan	63,7	15,2	13,9	7,2
France	11,5	5,3	76,1	7,1

Sources: [15], [21], [22], [23].

it cannot be compared in a systemic way with any other world transportation system since technical, technological, managerial, geographic, economic, and other parameters will differ. However, it is possible to identify common vectors of development.

So, in Japan, railway transport is the most popular way of transportation among the population. A high level of transport development is ensured by competition between transport companies performing passenger railway transportation [6]. In 1987, the Japanese national railways were divided into 8 companies, 6 of which perform passenger transportation [7]. In addition to them, there are other carriers, as well as private railway lines. There is no uniform gauge standard in the country. Thus, the total length of railways is 27 182 km, where about 22 thousand km have a track width of 1067 mm, 4 thousand km – of 1435 mm, 100 km – of 1372 mm and 48 km – of 762 mm [8].

The world's first public high-speed line (HSR) appeared in Japan. Traffic on Tokyo–Osaka section was opened in October 1964 after five years of construction [9]. The High-speed rail line was named «Tokaido», the length of the route was 515,4 km, with the maximum permissible train speed of 210 km/h. The cost of building the HSR had fully paid off by 1971, so with such a successful experience, the public authorities decided to create an entire high-speed rail network, which was called Shinkansen. The Shinkansen has a European track gauge of 1435 mm.

The PRC has created the world's largest high-speed railway network. Their total length has already reached 16 thousand km in 2014, while the total length of the country's railways was about 112 thousand km. In the Strategy for Development of China's Transport by 2050, the length of roads should be 270 thousand km [10]. Increasing the network of railways more than twice is a really achievable task for the country, since the first

project for construction of high-speed rail in the country had been approved in 1996, and already in 2012 the length of the high-speed rail network was over 7 thousand kilometres [11]. Starting in 2014, the second wave of active construction of high-speed lines began, which made it possible to more than double their length¹.

Unlike Japan, both passenger and freight transportation in China is carried out by a single Chinese state-owned company, China Railways².

Table 1 shows the structure of the internal passenger turnover of the studied transportation systems.

In the USA, Germany, India and France, domestic passenger turnover is carried out mainly by road transport, that is, using buses and private cars. They account for more than 80 % of the total passenger turnover. In the PRC, railway and road transport demonstrate almost a parity if accounted by that index. In Russia, the largest passenger turnover in domestic transportation falls on air transport (over 50 %). In Japan, on the contrary, railway transportation is the main mode of transportation of passengers: its share in passenger turnover is about 63 %. As the analysis shows, there is no any single structure of passenger turnover, characteristic of world transportation systems.

The average of passenger and freight traffic in rail transport in each country has its own value. These indices are influenced by various social, geographic, economic, and technological parameters. The most important among them are the length of the network and the level of well-being of citizens. However, it is inappropriate to single out any single factor as prevailing. So, the largest passenger turnover is in Japan, where the population

¹ According to CGTN, the total length of HSR in PRC attained about 36,000 km in February 2020 (<https://news.cgtn.com/news/2020-10-01/From-nobody-to-somebody-China-s-high-speed-rail-in-numbers-Udm6mE3qqA/index.html>). – *Ed. note.*

² China State Railway Group Co., Ltd. – *Ed. note.*

Table 2

Key indicators of the transportation activity of the passenger transportation systems by countries in 2017–2019

Country	Volume indicators						Quality indicators						
	2017		2018		2019		2017	2018			2019		
	Passenger flow, mln people	Passenger turnover, bln pass-km	Passenger flow, mln people	Passenger turnover, bln pass-km	Passenger flow, mln people	Passenger turnover, bln pass-km	Average distance, km	Passenger flow, mln people	Passenger turnover, bln pass-km	Average distance, km	Passenger flow, mln people	Passenger turnover, bln pass-km	Average distance, km
Russia	1117,9	122,9	1157,2	129,4	1197,8	133,4	109,9	0,35 %	5,3 %	111,8	0,37 %	3,10 %	111,4
USA	32,0	10,2	31,8	10,6	32,7	10,4	318,75	-0,63 %	3,9 %	333,3	2,83 %	-1,88 %	318,0
PRC	1657	685,2	1793	681,2	1845	682,4	413,52	8,2 %	-0,58 %	380,0	2,8 %	0,17 %	374,2
Germany	2055	77,5	2068	79,5	2100	79,8	37,7	0,65 %	2,6 %	38,4	0,15 %	0,38 %	38,1
India	8116	1149,8	8286	1177,7	8320	1180,1	141,7	2,10 %	0,24 %	142,1	0,40 %	0,20 %	141,8
Japan	2270,4	390,6	2237,2	403,7	2300,4	398,4	172,0	-1,46 %	3,35 %	180,5	2,82 %	-1,31 %	173,2
France	1252	93,3	1241	93,7	1238	94,2	74,5	-0,88 %	0,43 %	75,5	-0,24 %	0,53 %	76,1

Sources: <https://uic-stats.uic.org/> [21]. Quality indicators are calculated by the author of the article.

is about 126 million people, that is, much less than in the USA, China, or India. And in the country with the longest distance (Russia), the passenger turnover is several times less than in China, India, or Japan.

Table 2 shows the key performance indicators of the passenger transportation systems for 2017–2019 in the context of the analysed countries.

The dynamics of changes in the key indicators of the activity of the passenger transportation system has both trends common for all countries and features which are unique for each individual country. For example, the values of the average travel distance per passenger for 2017–2019 have remained practically unchanged in the USA, Germany, India, Japan, and France. This suggests that in these countries during the period under review there were no significant changes in the structure of passenger flows. The situation is different in China, where between 2017 and 2019 the average range decreased by 50 km. This is due to commissioning of railway lines and emergence of new stations, allowing passengers to use railway transport more often and to travel shorter distances. This is evidenced by the passenger flow, which in two years has grown by 10,2 %: from 1657 million people in 2017 up to 1845 million people in 2019.

The dynamics of passenger turnover usually directly depends on the number of passengers transported. In 2019, an increase in both indicators under consideration was recorded in Russia, Germany, India, and China. In other countries, there are discrepancies in the dynamics of passenger flow and passenger turnover of countries. So, in Japan in 2019 there was inflow of passengers to the network, but the passenger turnover

decreased because of reduction of the average distance per a trip.

In France, while passenger flow decreased by 0,3 % in 2019, passenger turnover increased by 0,5 %. And in the USA, on the contrary, in the same year, with an increase in passenger flow by almost 2 %, passenger flow showed a negative trend. The reasons for such discrepancies must be sought, first of all, in the ongoing marketing and pricing programs of passenger carrier companies.

Key indicators of operations of the passenger segment of the investigated transportation systems are shown in Table 3.

The comparative analysis of passenger turnover per capita by countries recorded the highest rates in Japan: 3220 pass-km/person. As previously revealed, this is due to the outstanding popularity of railway transportation (including maglev) among the inhabitants of this country. Also, the total combined revenue from passenger activities of all railway companies in Japan amounted to about 41 billion dollars, which is the largest result within the proposed sample. Japan transportation network has already reached the stage where it is only necessary to keep the industry at a given level. If we use the terminology of the Boston Matrix (Boston Consulting Group (BCG))³, it has been in the category of «stars» for decades, and levelling all risks, particularly of a technological and innovative nature, railway

³ The Growth Share Matrix developed by Boston Consulting Group (<https://www.bcg.com/ru-ru/about/our-history/growth-share-matrix>), whose terminology and approaches are further used by the author relates to market share and growth, suggesting cells called «star», «cash cow», «question mark», «pet». — *Ed. note.*



Key indicators of the activity of the passenger transportation system in 2019

Indicator	Russia	USA	PRC	Germany	India	Japan	France
Passenger turnover per capita, pass-km/person	910,51	30,46	486	959,72	850,7	3 220	1396
Income of companies from passenger transportation by rail transport, mln dollars	236,9	2841	—	19059	—	41084	13355
Fleet of passenger cars, units	23447	6240	61875	5192	56890	1140	3163
Transportation availability of the country, km/10000 people	5,84	4,58	0,48	4,02	0,53	1,34	4,34

Sources: [21], [24], [16], calculations of the author of the article.

transportation there will continue to remain at the achieved positions.

In two countries of Western Europe, France and Germany, the rate of transport availability is in the similar range, between 4 and 4,5 km/10000 people. Other indicators also show strong demand. At the same time, it can be seen that German railways meet a greater demand for short distances, as evidenced by the lower passenger turnover per capita with a larger car fleet and higher income than in France. It is seen that passengers prefer to use railway transportation for short trips. This indicates a high rate of mobility of citizens and that under the existing conditions of development of the transportation network, railway transport is used effectively. This is also evidenced by the stable passenger turnover values presented earlier.

In France, the emphasis within the railway passenger system is shifting towards long-distance travel, including travelling outside the country. As a result, the average passenger turnover per capita is almost 1,5 times higher than in Germany. Nevertheless, in both countries, railway passenger transportation segment takes the position of a «cash cow», consistently bringing a certain level of profit. However, to increase the share of railway transport, it is necessary to implement large infrastructure projects that is to construct new railways.

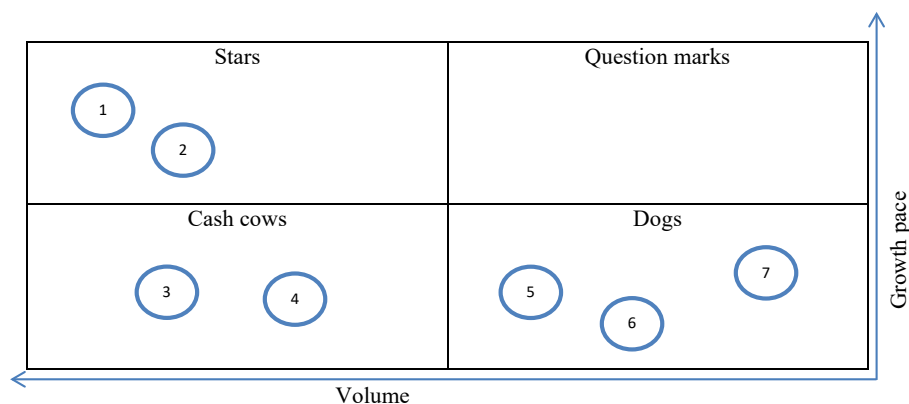
The results of the comparative analysis show, on the one hand, a similar state of the transportation systems in India and the PRC: the values of the passenger car fleet are comparable, and the country's transportation availability per capita is lower compared to other countries. However, there is a significant difference: India has neither speed nor high-speed rail, while China has the longest high-speed lines in the world. Modern speed trains attract passengers, so the share of rail transport in the PRC is over 30 % of the country's total domestic passenger turnover. And in India this figure is slightly above the 10 % mark.

Railway passenger transportation in India is a «pet» that requires colossal investments in infrastructure and rolling stock, however, they might encounter high risks of not getting the corresponding demand for transportation services. In the PRC, passenger transportation by rail is now a «star» that was a «question mark» a few years ago, and government policy is aimed at strengthening positions in the future.

In the USA, a unique situation developed in the second half of 20th century when the public authorities set themselves the task of reducing the role of railway transport and redistributing passenger flows to other modes of transport. Even though the country has the longest railway network in the world, the share of railway transportation in the total passenger turnover is less than 1 %. The country with the world's leading economy has practically got no speed and high-speed communication lines now (latest developments show that the situation is changing). Passenger railway transportation in the USA might be classified as «pets» using BCG terminology. However, the question of underestimation of this mode of transport in modern conditions has been increasingly raised. This is evidenced by the high level of income: about 2,8 bln dollars with average passenger flow of 32,7 mln people per year with an average distance of 318 km.

The positions of the studied transport systems in Boston matrix, as they are seen by the author and considering pure conditional character of such a positioning, are shown in Pic. 1.

The analysis of key performance indicators of railway transport companies providing passenger transportation services in Japan, China, France, Germany, India, and the USA showed the differences in the attitude of public authorities and business to development and popularization of railways and the outcomes.



Pic. 1. 1 – Japan, 2 – PRC, 3 – Germany, 4 – France, 5 – Russia, 6 – India, 7 – USA. Boston Matrix of the world's railway companies performing passenger transportation built by the author.

Comparing the findings regarding considered countries with the existing railway system in Russia, one can draw an analogy with each of them, but only regarding singular fields. Thus, Russian railways in their passenger segment have a high potential for development and significant growth in their economic performance. On the other hand, government-regulated social tariffs, as in India, make passenger transportation economically unprofitable, which limits the possibility of a qualitative growth in the transportation volume. The level of income from passenger transportation in Russia and India is ten times lower than this indicator in the rest of the considered countries [3].

The considered countries of Western Europe and Japan effectively use railway transport to transport passengers over short distances (up to 100 km) between large agglomerations. Their positive example can be compared with projects being implemented in Russia: implementation of MCC project (Moscow Central Circle) and of MCD project (Moscow Central Diameters). However, using the experience of France, Germany and Japan would be incorrect when assessing competitiveness of long-distance railway transport.

Chinese Railways showed the best dynamics in all respects, thanks to successful implementation of the Railway Transport Development Program. This has been achieved due to implementation of large investment projects and large passenger flow, naturally created due to high population density of large agglomerations. In general, the experience of Chinese railways, as a benchmark, can be used in assessing competitiveness of the passenger railway transportation segment in Russia and in finding solutions to improve it. However, it is

worth noting the fact that under the conditions restrained by economic factors, Russian railways cannot afford implementation of large-scale projects to organize high-speed traffic of an appropriate length in such a short time. Also, in Russia, one cannot expect growth rates of passenger flow similar to the Chinese results, since density and population figures in the countries differ significantly, and this leads to an increase in the payback period of construction, which, in turn, affects the ability to attract funds invested in the project.

Conclusions. The study revealed that railway companies operating passenger transportation in India and the USA are not suitable as a benchmark for assessing competitiveness of similar companies in Russia due to low values of passenger flows in comparison with other modes of transport. To improve performance, companies in these countries need to implement large innovative projects and resolve other internal problems that limit the growth of passenger flows.

The use of the economic models of France and Germany as benchmark of performance of the activities of passenger companies is advisable for local projects (up to 150 km). It is reasonable to consider Japanese companies only when assessing competitiveness of speed and high-speed transportation, since in this country all passenger railway transport is represented in this segment.

The analysis showed that to assess competitiveness of interregional passenger transportation of Russian railway companies, it is most expedient to use data provided by China Railways, which operates in PRC, as a benchmark. Railway transport is actively developing in the country. The implementation of the development program is cost-effective, and it is aimed at creating a transport



network connecting the distant regions of the country. In Russia, the railway industry has similar goals and objectives, therefore, the positive results obtained in China can be used with the least error as a benchmark.

According to the research described in the monograph [1], the economic model of increasing competitiveness of transportation and of respective transport companies includes a number of subsystems: formation and development of economic and technological capacity, research and monitoring of the economic situation in the markets, development of financial capacity and mechanisms attracting investments, as well as improving human and managerial capacity.

In the context of these subsystems, the approaches, methods, and rates of implementation of technological innovations in the People's Republic of China, systems of adaptive regulation of the transportation process on French railways, mechanisms for increasing the financial capacity in the USA and Japan, methods of management and development of human resources in Germany deserve evaluation as reference approaches.

REFERENCES

1. Teryoshina, N. P. Demonopolization, deregulation and competitiveness of railway transport in Russia [*Demonopolizatsiya, dereguirovanie i konkurentosposobnost zheleznodorozhnogo transporta Rossii*]. Moscow, MIIT publ., 2009, pp. 55–57.
2. Teryoshina, N. P., Filimonova, Z. V. Economic assessment of the choice of transport as a factor in the growth of regional mobility of the population [*Ekonomicheskaya otsenka vybora transporta kak faktora rosta regionalnoi mobilnosti naseleniya*]. *Proceedings of scientific and practical conference «Modern problems of managing the economy of the transport complex of Russia: competitiveness, innovation and economic sovereignty»*. Moscow, May 28–29, 2015, pp. 343–346.
3. Proceedings of International Transport Forum 2012. [Electronic resource]: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/13keystat2012.pdf>. Last accessed 06.09.2020.
4. Teryoshina, N. P., Zhakov, V. V. Modern aspects of managing competitiveness of transport systems [*Sovremennye aspekty upravleniya konkurentosposobnostyu transportnykh sistem*]. *Proceedings of X international conference «Management of development of large-scale systems MLSD'2017»*. Russian Academy of Sciences, 2017, pp. 114–116.
5. Quarterly rail passenger transport performance, EU-28, 2013–2017. [Electronic resource]: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Railway_passenger_transport_statistics_-_quarterly_and_annual_data#Rail_passengers_transport_performance_continued_to_increase_in_2017. Last accessed 06.09.2020.
6. Consumer Price Index (CPI) of public transportation in Japan from 2012 to 2017. The Statistics Portal. [Electronic resource]: <https://www.statista.com/statistics/662863/japan-public-transport-consumer-price-index/>. Last accessed 06.09.2020.
7. East Japan Railway Company. [Electronic resource]: https://www.jreast.co.jp/E/investor/ar/2014/pdf/ar_2014_all.pdf. Last accessed 06.09.2020.
8. West Japan Railway Company. [Electronic resource]: https://www.westjr.co.jp/global/en/ir/library/annual-report/2014/pdf/jr_west_annual_report_2014.pdf. Last accessed 06.09.2020.
9. Central Japan Railway Company. [Electronic resource]: <https://global.jr-central.co.jp/en/company/ir/annualreport/pdf/annualreport2014.pdf>. Last accessed 06.09.2020.
10. Annual report of the Chinese railways for 2016 [*Godovoi otchet zheleznikh dorog KNR za 2016*]. [Electronic resource]: <https://english.crcc.cn/Portals/0/AttachUpload/pdf/2017042717442966.pdf>. Last accessed 06.09.2020.
11. Regional Economic Impact Analysis of High Speed Rail in China. Main Report, June 25, 2014, pp. 56–73.
12. Annual report of JSC Russian Railways for 2014 [*Godovoi otchet OAO «RZD» za 2014 god*]. [Electronic resource]: <http://ar2014.rzd.ru/ru>. Last accessed 06.09.2020.
13. Ollivier, G.; Bullock, R.; Ying, Jin; Nanyan, Zhou. High-Speed Railways in China: A Look at Traffic. China Transport Topics, World Bank Office, Beijing, December 2014, No. 11, pp. 1–12. [Electronic resource]: <http://documents.worldbank.org/curated/en/451551468241176543/pdf/932270BR10Box30ffic020140final000EN.pdf>. Last accessed 06.09.2020.
14. Railway passengers – Country rankings. The world energy mix for electricity generation. The global economy. [Electronic resource]: https://www.theglobaleconomy.com/rankings/Railway_passengers/. Last accessed 06.09.2020.
15. Passenger transport statistics. [Electronic resource]: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Passenger_transport_statistics#Rail_passengers. Last accessed 06.09.2020.
16. Share of Deutsche Bahn AG and competitors in the transport performance in regional rail transport in Germany from 2005 to 2016 (in percentage of passenger kilometers). The Statistics Portal. [Electronic resource]: <https://www.statista.com/statistics/934567/market-shares-transport-performance-regional-rail-transport-germany/>. Last accessed 06.09.2020.
17. Indian Railways Annual Report 2014–2015 [Electronic resource]: https://www.indianrailways.gov.in/railwayboard/uploads/directorate/stat_econ/IRSP_2014-15/IR_Annual_Report%20%26%20Accounts_2014-15/Finance.pdf. Last accessed 06.09.2020.
18. Proceedings of International Transport Forum 2014. [Electronic resource]: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/14keystat2013.pdf>. Last accessed 06.09.2020.
19. Proceedings of International Transport Forum 2015. [Electronic resource]: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/15keystat2014.pdf>. Last accessed 06.09.2020.
20. High Speed Rail in India. Selection of corridors and Impacts on energy and emissions. Proceedings of International Transport Forum Roundtable on the Economics of investments in HSR, December 18–19th, 2013. [Electronic resource]: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/india-pal.pdf>. Last accessed 06.09.2020.
21. Rail Isa UIC Statistics. [Electronic resource]: <https://uic-stats.uic.org/select/>. Last accessed 06.09.2020.
22. EU Transport in Figures – Statistical Pocketbook 2019. [Electronic resource]: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/pocketbook-2019.pdf>. Last accessed 06.09.2020.
23. Railway Market Analysis Germany 2019. [Electronic resource]: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/EN/BNetzA/PressSection/ReportsPublications/2019/RailwayMarketAnalysis2019.pdf?__blob=publicationFile&v=1. Last accessed 06.09.2020.
24. The Knoema Data Workflow. [Electronic resource]: <https://knoema.ru/>. Last accessed 06.09.2020.
25. Annual report of JSC Russian Railways for 2019. Passenger transportation, pp. 52–63. [Electronic resource]: https://ar2019.rzd.ru/pdf/ar/ru/performance-overview_analysis-operating-results_passenger-transportation.pdf. Last accessed 06.09.2020.



ТРАНСПОРТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ 134

Чтобы построить модель, надо посчитать тех, кому предстоит пользоваться её результатами. Определение численности населения с учётом специфики северных городов.

ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТ 148

Светофорное регулирование. Простая задача, с нерешённостью которой можно столкнуться каждый день.

ТРАНСПОРТ, ЛОГИСТИКА, ИННОВАЦИИ 156

Транспортно-логистический кластер и интеллектуальные транспортные системы. Как оптимально организовать решение важных задач.

МАРШРУТИЗАЦИЯ 174

Новые подходы к построению маршрутных схем крупных городов. Выбор критериев и рассмотрение конкурирующих вариантов.

ИННОВАЦИИ И КООПЕРАЦИЯ 188

Общие подходы и конкретизация в вопросе модульных моторвагонных грузовых электропоездов.

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ • ADMINISTRATION, MANAGEMENT AND CONTROL

TRANSPORT MODELLING 141

To build a model it is necessary to cense those who will use its results. Assessment of population size considering features of northern cities.

URBAN TRANSPORT 152

Traffic controlling with traffic lights seems to be a simple task, doesn't it? If the problem is not solved, the consequences will let us know.

TRANSPORT, LOGISTICS, INNOVATION 166

Transport and logistics cluster and intelligent transport systems. How can we better organise solution of topical problems?

ROUTING 182

New approaches of routing schemes of large cities. Choice of criteria and analysis of competing options.

INNOVATION AND COOPERATION 194

General approaches and detailed topic on freight electric multiple-unit trains.





Методы расчёта численности населения при транспортном моделировании



Валерий МЯЧИН



Станислав ЦИБРО



Наталья СЕМЕНОВА



Алина БАСКАКОВА

Мячин Валерий Николаевич – Научно-исследовательский и проектный институт территориального развития и транспортной инфраструктуры (ООО «НИПИ ТРТИ»), Санкт-Петербург, Россия.

Цибро Станислав Владимирович – Научно-исследовательский и проектный институт территориального развития и транспортной инфраструктуры (ООО «НИПИ ТРТИ»), Санкт-Петербург, Россия.

Семенова Наталья Юрьевна – Научно-исследовательский и проектный институт территориального развития и транспортной инфраструктуры (ООО «НИПИ ТРТИ»), Санкт-Петербург, Россия.

Баскакова Алина Александровна – Научно-исследовательский и проектный институт территориального развития и транспортной инфраструктуры (ООО «НИПИ ТРТИ»), Санкт-Петербург, Россия*.

В статье рассматривается проблема выбора метода расчёта численности населения для технико-экономических обоснований при транспортном моделировании проектной дорожной сети городов северных регионов Российской Федерации на примере города Новый Уренгой. Цель исследования – определить оптимальный метод прогноза численности населения для получения исходных данных транспортного моделирования. При разработке технико-экономических обоснований города Новый Уренгой выявлен ряд особенностей демографической структуры северных городов РФ, которые влияют на выбор метода прогноза численности населения. На основе теоретического анализа

научной литературы в статье рассмотрены различные методы расчёта населения, проанализированы взаимосвязь существующей демографической структуры и её влияние на методы прогноза численности населения для транспортного моделирования. В условиях обострения демографических проблем РФ актуально оценивать региональные особенности перспектив изменения численности населения. В статье даны рекомендации по использованию метода прогноза численности населения с учётом региональной специфики городов, образованных в XX веке в связи с разработкой месторождений полезных ископаемых в северных регионах РФ.

Ключевые слова: методы прогноза численности населения, транспортное моделирование, технико-экономическое обоснование, демографическая структура населения.

*Информация об авторах:

Мячин Валерий Николаевич – доктор технических наук, профессор, генеральный директор Научно-исследовательского и проектного института территориального развития и транспортной инфраструктуры (ООО «НИПИ ТРТИ»), Санкт-Петербург, Россия, vmyachin@ipr.ru.

Цибро Станислав Владимирович – первый заместитель генерального директора – руководитель департамента социально-экономических исследований Научно-исследовательского и проектного института территориального развития и транспортной инфраструктуры (ООО «НИПИ ТРТИ»), Санкт-Петербург, Россия, stas@ipr.ru.

Семенова Наталья Юрьевна – главный специалист департамента социально-экономических исследований Научно-исследовательского и проектного института территориального развития и транспортной инфраструктуры (ООО «НИПИ ТРТИ»), Санкт-Петербург, Россия, nsemenova@ipr.ru.

Баскакова Алина Александровна – кандидат экономических наук, руководитель проектного направления экономики транспорта Научно-исследовательского и проектного института территориального развития и транспортной инфраструктуры (ООО «НИПИ ТРТИ»), Санкт-Петербург, Россия, abaskakova@ipr.ru.

Статья поступила в редакцию 27.07.2020, принята к публикации 04.09.2020.

For the English text of the article please see p. 141.

ВВЕДЕНИЕ

В статье рассматривается проблема выбора метода расчёта численности населения для технико-экономических обоснований при транспортном моделировании проектной дорожной сети городов северных регионов Российской Федерации на примере города Новый Уренгой.

Задача экономических изысканий — сбор, обработка, систематизация и анализ исходных данных для обоснования предпосылок развития автомобильных дорог. Экономические изыскания для разработки схем развития сети автомобильных дорог имеют конечной целью наметить и обосновать перспективы развития сети, исходя из перспектив развития населения и производительных сил, определяют потребность в мощности транспортной сети [1].

Численность населения, его структура, занятость — базовые характеристики, со сбора и анализа которых начинается работа над технико-экономическими обоснованиями развития дорожной системы городов.

При разработке ряда экономических изысканий была выявлена особая специфика демографических показателей городов северных регионов Российской Федерации (РФ), которые появились во второй половине XX века, благодаря открытию нефтегазовых месторождений. На примере города Новый Уренгой рассмотрим демографические особенности таких городов, которые необходимо учитывать при экономических изысканиях для транспортно-го моделирования.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Город Новый Уренгой — городской округ на севере России в Ямало-Ненецком автономном округе РФ (рис. 1).

В Ямало-Ненецком автономном округе (ЯНАО) сегодня добывается более 90 % всего природного газа и 12 % нефти от общих объёмов добычи по РФ [2]. Ямало-Ненецкий округ, являясь основным регионом страны по добыче углеводородов, рассматривается и как перспективный горнодобывающий район по группе твёрдых полезных ископаемых. Основными из них являются железные руды, хромиты, цветные металлы и др. Кроме этого, в автономном округе развита рыбная промышленность и оленеводство.

Численность населения на 1 января 2020 года составила 544,0 тыс. человек. По сравнению с соответствующей датой предыдущего года численность населения округа увеличилась на 2,5 тыс. человек [3].

Современная демографическая ситуация в РФ обусловлена снижением численности населения, замещением поколений: выбытием из возраста 15–64 лет многочисленного послевоенного поколения и притоком малочисленного поколения людей, рождённых в нестабильные 90-е годы XX века. Кроме того, серьёзными демографическими проблемами являются высокий уровень смертности в экономически активных возрастах и снижение рождаемости.

В городах ЯНАО демографическая ситуация складывается по-другому, почти во



Рис. 1. Схема расположения города Новый Уренгой.

Таблица 1

Характеристики городов ЯНАО [3; 4]

Название города	Статус города получен	Численность населения, на 01.01.2020 (чел.)	Плотность начеления чел/км ²
Губкинский	1996 г.	29161	694,3
Лабытнанги	1975 г.	26295	1195,2
Муравленко	1990 г.	31561	346,8
Надым	1972 г.	44830	242,3
Новый Уренгой	1980 г.	117482	531,6
Ноябрьск	1982 г.	106911	551,7
Салехард	1938 г.	50976	603,3
Тарко-Сале	2004 г.	21501	488,7
ЯНАО в целом		544444	0,7

всех городах наблюдается рост численности населения [3; 4].

Особенности демографических показателей:

- высокая доля трудоспособного населения;
- в структуре занятости населения преобладает градообразующая группа;
- высокая плотность населения городов и низкая плотность населения региона.

Данные особенности влияют на численность населения городов. В состав ЯНАО входят восемь городов (табл. 1).

На примере демографических показателей города Новый Уренгой рассмотрим основные особенности структуры населения северных городов, возникших вследствие начала разработки месторождений.

2. ДЕМОГРАФИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ НОВОГО УРЕНГОЯ

Новый Уренгой – первый по численности населения город округа. Численность постоянного населения составляет 22 % от общей численности населения ЯНАО. В отличие от многих российских городов, в которых имеет место устойчивая и долго-

временная естественная убыль населения, в Новом Уренгое сохраняется положительный естественный прирост населения (в 2019 году рождаемость составила 13,3 человек на 1000 жителей, смертность составила 3,3 человек на 1000 жителей). Миграционная ситуация характеризуется приростом населения (в 2019 году – 948 человек [2; 4]).

Высокая доля трудоспособного населения. В структуре населения города удельный вес лиц в трудоспособном возрасте составляет 67 %, лиц моложе трудоспособного возраста – 23 %, граждан старше трудоспособного возраста – 10 % (рис. 2) [2].

Город Новый Уренгой, возникший в ходе разработок месторождений, на протяжении всего периода развития характеризовался высоким удельным весом лиц трудоспособного возраста. На возрастную структуру населения сильное влияние оказывала миграция.

В настоящее время во многих городах РФ увеличивается число лиц пенсионного возраста, уменьшается рождаемость, сокращается трудоспособное население. Это вызывает «старение» городов. В быстрораз-

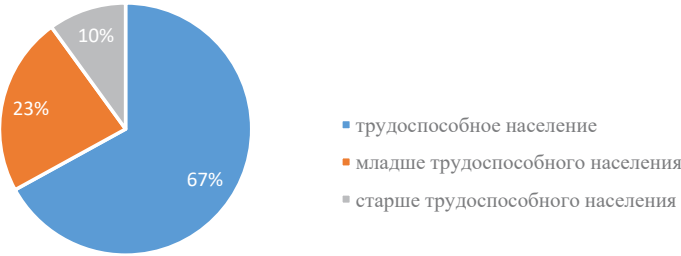


Рис. 2. Структура населения города Новый Уренгой.

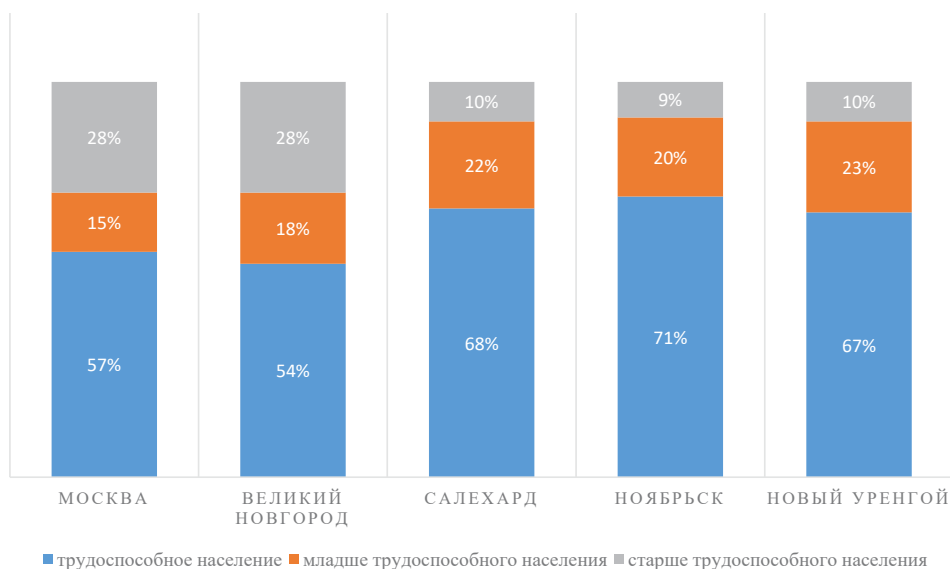


Рис. 3. Структура населения городов РФ [3].

живающихся городах, наоборот, за счёт миграции молодых трудоспособных граждан увеличивается доля трудоспособного населения, наблюдается высокая рождаемость. Специфика возрастной структуры населения формирует особые требования к транспортному развитию территории.

На рис. 3 приведены данные по структуре населения нескольких городов РФ, которые на примере Салехарда, Ноябрьска и Нового Уренгоя иллюстрируют смещение демографических показателей северных городов [3].

Высокая доля трудоспособного населения неизменно ведёт к увеличению корреспонденции по рабочим целям. В Новом Уренгое особенности развития промышленности и территориальная разобщённость селитебных и промышленных районов приводят к возникновению значительной селитебно-трудовой несбалансированности, и население вынуждено ежедневно совершать поездки из селитебных районов к промышленным зонам и к другим участкам концентрации мест приложения труда.

В структуре занятости населения преобладает градообразующая группа. При анализе структуры занятости населения города Новый Уренгой и РФ в целом явно видны особенности градообразующей группы населения города. На долю добывающей промышленности приходится 30 % занятого населения, в РФ в целом в добывающей промышленности занято всего

1,6 % населения. Также велика доля занятых в транспортировке и хранении (15 %), в целом по РФ эта доля составляет 7,5 %. Численность занятых по основным видам экономической деятельности в процентах представлена на рис. 4 [5].

В северных районах страны предприятия добывающей промышленности обуславливают возникновение новых и развитие существующих городов. Численность градообразующей группы, совершающей основные поездки, выявляется на основании перспектив развития промышленности. В целом, с начала развития промышленных территорий миграция является естественным процессом развития округа.

Высокая плотность населения городов, и низкая плотность населения региона. Расселение населения в ЯНАО характеризуется высокой урбанизацией. Плотность населения городов значительно выше плотности по округу в целом. В среднем в городах она составляет 581 чел./км², а по округу в целом всего лишь 0,7 чел./км² [2]. Спрос и предложение рынка труда в городской и сельской местности имеют структурный дисбаланс. В городах много рабочих мест, наблюдается нехватка трудовых ресурсов, которая восполняется за счёт миграции населения в трудоспособном возрасте. В сельских населённых пунктах наблюдается обратная ситуация. Дополнительной особенностью регионального рынка труда является то, что свыше 15 %



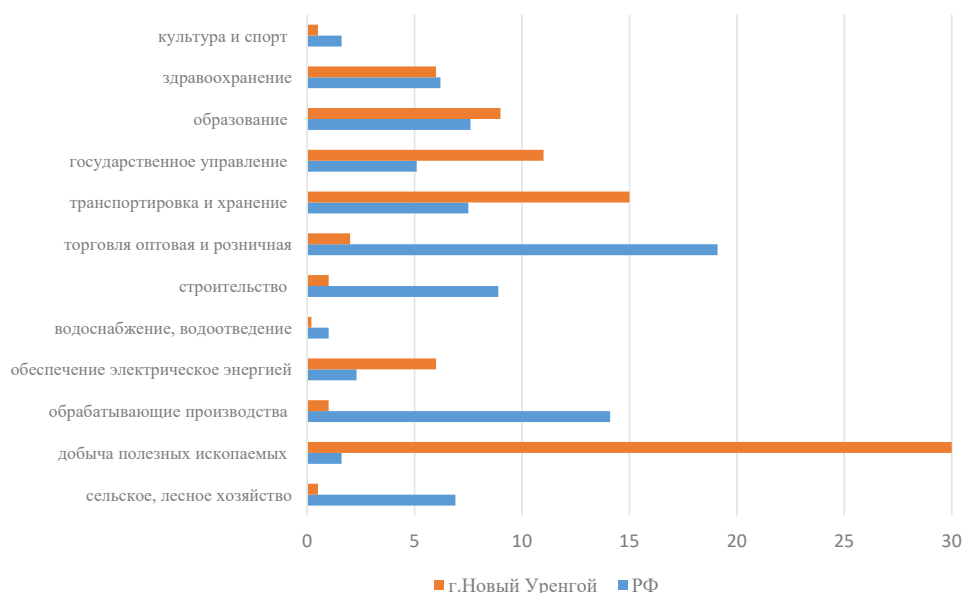


Рис. 4. Численность занятых по основным видам экономической деятельности, в процентах.

[6] занятых в экономике ЯНАО работают вахтовым методом и проживают за пределами Ямала.

Численность населения городов в ЯНАО имеет положительную динамику. В Новом Уренгое за последние пять лет отмечаются положительные показатели естественного и механического прироста населения.

Низкая плотность населения региона в совокупности со значительной территориальной удалённостью небольших населённых пунктов создают особые требования к развитию транспортной инфраструктуры и формируют серьёзные задачи для социально-экономического развития региона.

Выявление подлинных тенденций демографических процессов – вовсе не простая задача, как может показаться. Нужно оценить достоверность статистической информации и выбрать подходящие для каждого случая показатели (или сконструировать их). Различные показатели, в зависимости от их индивидуальных свойств, могут совершенно по-разному характеризовать направление и интенсивность одного и того же процесса.

Для определения перспективной численности населения городов известны несколько методов:

- статистической экстраполяции;
- предельной демографической ёмкости территорий;

- передвижки возрастов;
- трудового баланса.

Метод *статистической экстраполяции* предполагает экстраполяцию роста численности населения на основании численности за ряд прошедших лет; он исходит из постоянно действующего комплекса экономических условий. Поскольку неизменность экономических условий – явление редкое, указанный метод не нашёл широкого применения [7; 8].

Метод *предельной демографической ёмкости* территорий предусматривает определение перспективной численности населения, исходя из возможностей расселения в условиях стабильности городской черты. Количество населения, рассчитанное с учётом планировочных особенностей города, согласовывается с количеством занятых на действующих и размещаемых в городе объектах. Такой метод пригоден для городов со строго ограниченными территориальными ресурсами. Чаще всего препятствиями для дальнейшего роста этих городов являются преграды (горы, водоёмы и т.д.) [7; 8].

Метод *передвижки возрастов* основывается на данных переписи населения. Перспективная численность определяется путём прогнозирования перехода населения из одной возрастной группы в другую с учётом коэффициента дожития и повоз-

Пример численности населения по транспортным районам по основным показателям
[данные ООО «НИПИ ТРТИ»]

Транспортный район	Численность населения, чел.	Занятые, чел.	Места труда, ед.	Места учёбы, ед.	Численность студентов, чел.
1	0	0	1365	0	0
2	0	0	0	0	0
3	569	353	158	0	23
4	0	0	2290	0	0
5	3895	2415	840	0	156
6	540	335	203	0	22
7	50	31	551	0	2
8	0	0	763	0	0
9	0	0	1389	0	0
10	394	244	818	0	16

растных факторов фертильности. Этот метод целесообразен для сложившихся городов [7; 8].

Метод трудового баланса пригоден для большей части градостроительных условий. Сущность этого метода заключается в определении соотношения между различными группами населения: градообразующей, обслуживающей и несамодеятельной. Всё население делится на эти группы в зависимости от характера трудовой деятельности [7; 8, с. 94–96].

Перспективная численность населения, согласно данному методу, устанавливается в зависимости от планируемых масштабов развития города и величины трудовых ресурсов. Расчёт производится по формуле: $H = A \cdot 100 / (T - B - a - b - n + m)$, где H – перспективная численность населения города, чел.;

A – абсолютная численность градообразующей группы, чел.;

T – доля населения в трудоспособном возрасте, %;

B – доля обслуживающей группы населения, %;

a – численность занятых в домашнем хозяйстве в трудоспособном возрасте, %;

b – численность учащихся в трудоспособном возрасте, %;

n – численность неработающих инвалидов, %;

m – численность работающих пенсионеров, %.

В результате проделанной работы были рассмотрены основные демографические показатели города Новый Уренгой, на основе динамики которых для прогноза

численности населения города был выбран метод трудового баланса.

Потребность в трудовых ресурсах вычисляется, исходя из планируемых темпов роста ВРП по годам и темпов прироста производительности труда, определяемого как показатель ВРП на одного работающего. Для определения потребности в трудовых ресурсах индексируемая величина ВРП по годам делится на индексируемый показатель производительности труда. Из полученного показателя среднегодовой потребности в трудовых ресурсах вычитается прогнозная численность занятого населения с учётом естественного прироста, и таким образом рассчитывается показатель потребности в трудовых ресурсах. Для определения общей численности миграционного прироста показатель потребности в трудовых ресурсах увеличивается на коэффициент соотношения занятого и незанятого населения. Количество детей в миграционном приросте определяется в структуре естественного прироста населения. Основные положения расчёта приводятся в источниках, включённых в список литературы [9–20].

Проанализировав все методы для прогноза численности населения, можно сделать вывод, что для северных городов и для г. Новый Уренгой, в частности, необходимо использовать именно этот метод, поскольку в составе города в высокоурбанизированном регионе преобладают трудоспособное население и градообразующая группа.

Структура населения формирует спрос на передвижение. Знание спроса



на передвижения — основа для транспортного планирования. Прогнозные результаты численности населения используются как исходные данные при транспортном моделировании г. Новый Уренгой для определения развития транспортной системы города, составляются таблицы численности населения по транспортным районам по основным показателям (табл. 2).

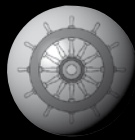
Сформированные базы данных с прогнозной информацией о численности проживающего населения, в том числе занятых, численности проживающих студентов, количестве мест приложения труда и учёбы используются при разработке транспортной модели и прогнозировании транспортных потоков на перспективу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы были рассмотрены основные демографические методы прогноза населения. С учётом региональной специфики обоснован выбор метода прогноза численности населения при транспортном моделировании на примере города Новый Уренгой. Воспроизводство населения, демографические процессы, характер и тенденции изменения демографической ситуации оказывают воздействие на все прочие сферы общественной жизни, в значительной мере определяя течение экономических, транспортных, социальных и других процессов. Использование метода трудового баланса при экономических изысканиях северных городов РФ позволит более точно использовать потенциал территории. При дальнейших транспортно-экономических изысканиях для проектов развития северных городов РФ рекомендуется применять именно метод трудового баланса для расчёта численности населения.

ЛИТЕРАТУРА

1. ВСН 42-87. Инструкция по проведению экономических изысканий для проектирования автомобильных дорог. 1987 г. [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/1200006881>. Доступ 27.08.2020.
2. Статистический ежегодник: Стат. сборник «Ямало-Ненецкий автономный округ в 2-х частях». Ч. II (2017 г., 2018 г.) / Управление Федеральной службы государственной статистики по Тюменской области, Ханты-Мансийскому автономному округу — Югре и Ямало-Ненецкому автономному округу. — Тюмень, 2019. — 260 с.
3. Оценка численности постоянного населения на 1 января 2020 года и в среднем за 2019 год. [Электронный ресурс]: <https://rosstat.gov.ru>. Доступ 27.08.2020.
4. Сборник «Демографические показатели». Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Тюменской области, Ханты-Мансийскому автономному округу — Югре и Ямало-Ненецкому автономному округу. [Электронный ресурс]: https://tumstat.gks.ru/ofstat_ynaо. Доступ 27.08.2020.
5. Статистический сборник «Торговля в России в 2019 году». — М.: Росстат, 2019. [Электронный ресурс]: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Torgov_2019.pdf. Доступ 27.08.2020.
6. Постановление Губернатора Ямало-Ненецкого автономного округа от 25 августа 2016 г. № 154-ПГ «О внесении изменений в Постановление № 203-ПГ от 25.12.2013 г. «Об утверждении Инвестиционной стратегии Ямало-Ненецкого автономного округа до 2020 года». [Электронный ресурс]: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/8900201609010017>. Доступ 27.08.2020.
7. Саградов А. А. Введение в демографию. — М.: Инфра-М, 2011. — 629 с.
8. Статистический анализ в демографии: Сборник статей / Под ред. А. Г. Волкова. — М.: Статистика, 1980. — 165 с.
9. Зайцев Л. К. Экономика городского строительства. — М.: Стройиздат, 1981. — С. 94–96.
10. Архангельский В. Н. Воспроизводство населения России. — М.: Гардарики, 1998. — 115 с.
11. Урланис Б. Ц. Народонаселение: исследования, публицистика. — М.: Лион, 1996. — 359 с.
12. Эченике В. Х. США: Демография и бизнес. Научно-аналитический обзор. — М.: Инфра-М, 1999. — 46 с.
13. Urban Sustainability in the Arctic: Measuring Progress in Circumpolar Cities. Ed. by R. W. Orttung. Berghahn Books, 2020, 310 p., 19 illus., bibliog., index.
14. Heleniak, T., Turunen, E., Wang, S. Demographic Changes in the Arctic. The Palgrave Handbook of Arctic Policy and Politics, 2020, pp. 41–59.
15. Heleniak, T. Boom and Bust: Population Change in Russia's Arctic Cities. In *Sustaining Russia's Arctic Cities: Resource Politics, Migration, and Climate Change*. Ed. by R. W. Orttung. Berghahn Books, 2017, Chapter 4, pp. 67–87. 274 pages, 30 illus., bibliog., index.
16. T1 Travel Demand Modelling. *Australian Transport Assessment and Planning Guidelines*, 2016, pp. 15–21. [Электронный ресурс]: https://www.atap.gov.au/sites/default/files/T1_Travel_Demand_Modelling.pdf. Доступ 27.08.2020.
17. Tsekeris, Th., Tsekeris, C. Demand Forecasting in Transport: Overview and Modeling Advances. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 2011, Vol. 24, No. 1, pp. 82–94. DOI: 10.1080/1331677X.2011.11517446.
18. Heleniak, T. Migration and population change in the Russian Far North during the 1990s. In *Migration in the circumpolar North: new concepts and patterns*. Ed. by C. Southcott, L. Huskey, Edmonton, AB, Canadian Circumpolar Institute Press, University of Alberta, 2010, pp. 57–91.
19. Heleniak, T. Growth Poles and Ghost Towns in the Russian Far North. In *Russia and the North*. Ed. by E. W. Rowe. Ottawa, University of Ottawa Press, 2009, 218 p., pp. 129–163.
20. Ortuzar, J., De, D., Willumsen, L. G. Modelling Transport. 3rd ed. Wiley, New York, 2009. ●



Methods for Calculating the Population Size in Transport Modelling



Valery N. MYACHIN



Stanislav V. TSIBRO



Nataliya Yu. SEMENOVA



Alina A. BASKAKOVA

Myachin, Valery N., Research and Design Institute for Territorial Development and Transport Infrastructure (LLC NIPI TRTI), St. Petersburg, Russia.

Tsibro, Stanislav V., Research and Design Institute for Territorial Development and Transport Infrastructure (LLC NIPI TRTI), St. Petersburg, Russia.

Semenova, Nataliya Yu., Research and Design Institute for Territorial Development and Transport Infrastructure (LLC NIPI TRTI), St. Petersburg, Russia.

Baskakova, Alina A., Research and Design Institute for Territorial Development and Transport Infrastructure (LLC NIPI TRTI), St. Petersburg, Russia.*

ABSTRACT

The article discusses the problem of choosing a method for calculating the population size for feasibility studies in transport modelling of the design road network of cities in the northern regions of the Russian Federation, using the example of the city of Novy Urengoy. The objective of the study is to determine the optimal method for forecasting the population size to obtain initial data for transport modelling. During development of feasibility studies for the city of Novy Urengoy, features of the demographic structure of the northern cities of the Russian Federation affecting the choice of the method for forecasting the population size were identified. Based on

the theoretical analysis of scientific literature, the article discusses various methods of calculating the population, analyses the relationship of the existing demographic structure and its influence on the methods of forecasting the population size for transport modelling. In the context of aggravation of demographic problems of the Russian Federation, it is important to assess the regional features of the prospects for changing the population size. The article suggests recommendations on the use of the method of forecasting the population size, considering regional features of cities founded in 20th century because of development of mineral deposits in the northern regions of the Russian Federation.

Keywords: methods for forecasting population size, transport modelling, feasibility study, demographic structure of the population.

*Information about the authors:

Myachin, Valery N. – D.Sc. (Eng), Professor, General Director of Research and Design Institute for Territorial Development and Transport Infrastructure (LLC NIPI TRTI), St. Petersburg, Russia, vmyachin@ipr.ru.

Tsibro, Stanislav V. – First Deputy General Director – Head of the Department of Social-Economic Studies of Research and Design Institute for Territorial Development and Transport Infrastructure (LLC NIPI TRTI), St. Petersburg, Russia, stas@ipr.ru.

Semenova, Nataliya Yu. – Chief Specialist of the Department of Social-Economic Studies of Research and Design Institute for Territorial Development and Transport Infrastructure (LLC NIPI TRTI), St. Petersburg, Russia, nsemenova@ipr.ru.

Baskakova, Alina A. – Ph.D. (Economics), Head of the Design Direction of Research and Design Institute for Territorial Development and Transport Infrastructure (LLC NIPI TRTI), St. Petersburg, Russia, abaskakova@ipr.ru.

Article received 27.07.2020, accepted 04.09.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 134.

Background. The problem of choosing a method for calculating the population size for feasibility studies preceding transport modelling while developing design of road network of cities in the northern regions of the Russian Federation is described using the example of the city of Novy Urengoy.

The task of economic survey is associated with collection, processing, systematization, and analysis of initial data to substantiate the prerequisites for development of highways. Economic surveys for development of road network development schemes have the ultimate goal of outlining and substantiating development prospects of the network. Based on the prospects for development of the population and productive forces, the developers determine the need for a certain capacity of the transport network [1].

The population size, its structure, employment are the basic characteristics, and feasibility studies for development of the road system of cities start from the collection and analysis of the relevant information.

Development of a number of economic surveys revealed features of the demographic indicators of cities in the northern regions of the Russian Federation, which appeared in the second half of 20th century due to discovery of oil and gas fields. Using the example of the city of Novy Urengoy, let us consider the demographic characteristics of those cities,

since they should be considered in economic surveys preceding transport modelling.

1. Characteristics of the object of research

The city of Novy Urengoy is an urban district in the north of Russia in Yamalo-Nenets Autonomous District of the Russian Federation (Pic. 1).

More than 90 % of all natural gas and 12 % of oil from the total production in the Russian Federation are produced today in Yamalo-Nenets Autonomous District (YaNAD), [2]. The Yamalo-Nenets District, being the main hydrocarbons production region of the country, is also considered as a promising mining region in terms of the group of solid minerals. The main ones are iron ores, chromites, non-ferrous metals, etc. Besides, the fishing industry and reindeer husbandry are well developed in this Autonomous District.

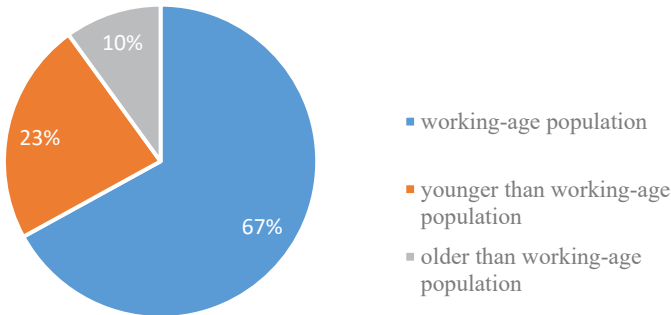


Pic. 1. Location of the city of Novy Urengoy.

Table 1

Characteristics of the cities of YaNAD [3; 4]

City name	City status obtained in	Population as of 01.01.2020 (people)	Population density. people/ km ²
Gubkinsky	1996	29161	694,3
Labytnangi	1975	26295	1195,2
Muravlenko	1990	31561	346,8
Nadym	1972	44830	242,3
Novy Urengoy	1980	117482	531,6
Noyabrsk	1982	106911	551,7
Salekhard	1938	50976	603,3
Tarko-Sale	2004	21501	488,7
YaNAD in total		544444	0,7



Pic. 2. Structure of population of Novy Urengoy.

The population as of January 1, 2020 was 544,0 thousand people. Compared to the corresponding date of the previous year, the population of the district has increased by 2,5 thousand people [3].

The current demographic situation in the Russian Federation is determined by a decrease in population, and by replacement of generations through departure from the age of 15–64 of a large post-war generation and influx of a less numerous generations of people born in the unstable 90s of 20th century. In addition, serious demographic problems are associated with high mortality rate regarding economically active ages and with decline in the birth rate.

In the cities of YaNAD the demographic situation is developing in a different way, almost all cities record an increase in population [3; 4].

Features of demographic indicators:

- high proportion of the working-age population;
- the city-forming group prevails in the structure of employment;
- high population density in cities and low-population density in the region.

These features influence the population size of the cities. YaNAD includes eight cities (Table 1).

Using the demographic indicators of the city of Novy Urengoy as an example, we will consider the main features of the structure of population of northern cities that have arisen following the start of deposits developments.

2. Demographic indicators of Novy Urengoy

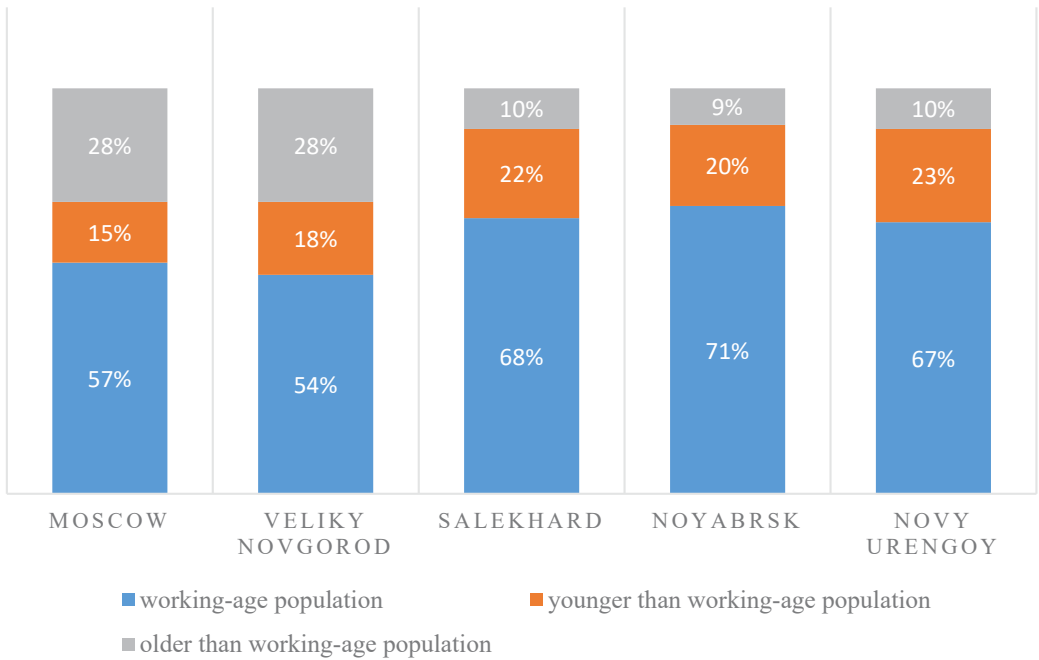
Novy Urengoy is the district’s first city in terms of population. Its resident population constitutes 22 % of the total population of YaNAD. Unlike many Russian cities, where there is a steady and long-term natural population decline, Novy Urengoy maintains a positive natural population growth (in 2019 the birth rate was 13,3 people per 1000 inhabitants, the mortality rate was 3,3 people per 1000 inhabitants). The migration situation is characterized by population growth (in 2019: 948 people [2; 4]).

High proportion of the employable population.

In the structure of the city’s population, the proportion of people of working age is 67 %, the share of people under working age is 23 %, citizens older than working age constitute 10 % (Pic. 2) [2].

The city of Novy Urengoy, which emerged in the course of deposit development, has been characterized by a high proportion of people





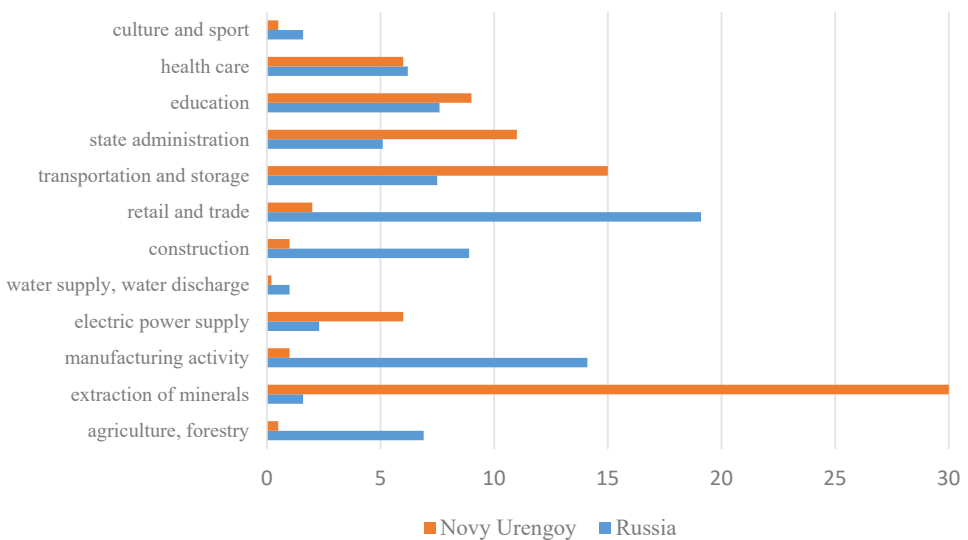
Pic. 3. Structure of population of the cities of the Russian Federation [3].

of working age throughout the entire period of its development. The age structure of the population was strongly influenced by migration.

At present, in many cities of the Russian Federation, the number of persons of retirement age is increasing, the birth rate is decreasing, and the working-age population is decreasing. This results in cities' «aging». In rapidly

developing cities, on the contrary, due to migration of young able-bodied citizens, the share of the employable population is increasing, and a high birth rate is observed. The specificity of the age structure of the population forms special requirements for transport development of the territory.

Pic. 3 shows data on the structure of the population of several cities of the Russian



Pic. 4. Number of employed by main types of economic activity, percentage.

Federation, which if we compare all the examples with the examples of Salekhard, Noyabrsk and Novy Urengoy, illustrates the shift in the demographic indicators of northern cities [3].

A high proportion of employable population invariably leads to an increase in trips for job purposes. In Novy Urengoy, the peculiarities of industrial development and the territorial disunity of residential and industrial areas lead to a significant residential and labour imbalance, and the population is forced to make daily trips from residential areas to industrial zones and to other areas of concentration of places of employment.

The city-forming group prevails in the structure of employment of the population. When analysing the structure of employment of the population of the city of Novy Urengoy and the Russian Federation as a whole, the features of the city-forming group of the city's population are clearly visible. The mining industry accounts for 30 % of the employed population of the city, while in the Russian Federation as a whole, the mining industry employs only 1,6 % of the population. There is also a large share of those employed in transportation and storage (15 %); while in the Russian Federation this share is 7,5 %. The number of employed by the main types of economic activity as a percentage is shown in Pic. 4 [5].

In the northern regions of the country, extractive industry enterprises determine emergence of new and development of existing cities. The size of the city-forming group making the main trips is determined based on the prospects for development of the industry. In general, since the beginning of development of industrial territories, migration has been a natural process of the district's development.

High urban density and low population density in the region. The settlement of the population in YaNAD is characterized by high urbanization. The population density of cities is significantly higher than the density in the district as a whole. On average, in cities it is 581 people/km², and in the district as a whole it is only 0,7 people/km² [2]. The demand and supply of the labour market in urban and rural areas have a structural imbalance. There are many jobs in the cities, and there is a shortage of labour resources, which is compensated by migration of the population of working age. The

opposite situation is observed in rural areas. An additional feature of the regional labour market is that over 15 % [6] of those employed in YaNAD economy work on a rotational basis and live outside Yamal.

The population of cities in Yamalo-Nenets Autonomous District has a positive trend. In Novy Urengoy, over the past five years, there have been positive indicators of natural increase and mechanical population growth.

The low population density of the region, together with considerable territorial remoteness of small settlements, create special requirements for development of transport infrastructure and form serious tasks for socio-economic development of the region.

Revealing true trends of demographic processes is not at all an easy task, as it might seem. It is necessary to assess reliability of statistical information and select the appropriate indicators for each case (or design them). Different indicators, depending on their individual properties, can characterize the direction and intensity of the same process in completely different way.

Several methods are known to determine the prospective population size of cities:

- statistical extrapolation;
- limiting demographic carrying capacity of the territories;
- age shifting;
- labour balance.

The method of *statistical extrapolation* involves extrapolation of population growth based on its size over the past years; it proceeds from a permanent set of economic conditions. Since invariability of economic conditions is a rare phenomenon, this method has not found wide application [7; 8].

The method of limiting demographic carrying capacity of territories provides for determination of the prospective population size, based on the possibilities of settlement in the conditions of stability of the urban area. The size of population, calculated considering planning features of the city, is consistent with the number of people employed at the facilities operating and located in the city. This method is suitable for cities with strictly limited territorial resources. Most often, obstacles to further growth of these cities are natural barriers (mountains, reservoirs, etc.) [7; 8].

The age shifting method is based on census data. The prospective population size is



An example of the population size by transport districts and by main indicators [data of LLC NIPI TRTI]

Transport district (area)	Population, people	Employed, people	Job places, units	Places of study, units	Number of students, people
1	0	0	1365	0	0
2	0	0	0	0	0
3	569	353	158	0	23
4	0	0	2290	0	0
5	3895	2415	840	0	156
6	540	335	203	0	22
7	50	31	551	0	2
8	0	0	763	0	0
9	0	0	1389	0	0
10	394	244	818	0	16

determined by predicting the transition of the population from one age group to another, considering the survival rate and age-specific fertility factors. This method is appropriate for long existing cities [7; 8].

The labour [market] balance method is suitable for most urban planning conditions. The essence of this method lies in determining the ratio between different groups of the population: city-forming, employed in service sector, and inactive population. The entire population is distributed among those groups depending on the nature of labour activity [7; 8, pp. 94–96].

The prospective population size, according to this method, is set depending on the planned scale of the city's development and the size of the labour resources. The calculation is made according to the formula:

$$H = A \cdot 100 / (T - B - a - b - n + m),$$

where H is prospective population of the city, people;

A – absolute number of the city-forming group, people;

T – share of the population of working age, %;

B – share of the population employed in service sector, %;

a – number of household employed at working age, %;

b – number of students at working age, %;

n – number of disabled people who are not working, %;

m – number of working pensioners, %.

Following the survey done, the main demographic indicators of the city of Novy Urengoy were considered. Based on their

dynamics the labour balance method was chosen to forecast the population of the city.

The need for labour resources is calculated based on the planned growth rate of GRP by years and the growth rate of labour productivity, which is defined as an indicator of GRP per employee. To determine the need for labour resources, the indexed value of GRP by years is divided by the indexed indicator of labour productivity. From the obtained indicator of the average annual demand for labour resources, the projected number of the employed population is subtracted, considering natural increase, and thus the indicator of demand for labour resources is calculated. To determine the total number of migration growth, the indicator of the need for labour resources is increased by the ratio of employed and unemployed population. The number of children within migration growth is determined based on the structure of natural population growth. The main provisions of the calculation are suggested in the sources included in the list of references [9–20].

Having analysed all the methods for predicting the population size, we can conclude that for the northern cities and for the city of Novy Urengoy, in particular, it is necessary to use the method of labour balance, since the working population and the city-forming group prevail in the city within a highly urbanized region.

The structure of the population forms the demand for mobility. Knowledge of the demand for mobility is the basis for transport planning. The predicted results of the population size are

used as initial data in the transport modelling of the city of Novy Urengoy to determine development of the city's transport system, and then tables of the population size by transport districts are compiled according to the main indicators (Table 2).

The formed databases with forecast information on the number of the inhabitants, including those employed, on the number of students who lives in the city, the number of places of employment and study are used for development of a transport model and for forecasting future traffic flows.

Conclusion. Following the study, the main demographic methods for forecasting the population size were considered. Considering the regional features, the choice of the method for forecasting the population size for transport modelling is justified on the example of the city of Novy Urengoy. The reproduction of the population, demographic processes, the nature, and tendencies of changes in the demographic situation have an impact on all other spheres of social life, largely determining the course of economic, transport, social and other processes. The use of the labour balance method in economic surveys of the northern cities of the Russian Federation will make it possible to use the capacity of the territory more accurately. With further transport and economic surveys intended for projects of development of the northern cities of the Russian Federation, it is recommended to apply the same labour balance method to calculate the population size.

REFERENCES

1. VSN42-87. Instructions for conducting economic surveys for design of highways, 1987 [VSN42-87. *Instruktsiya po provedeniyu ekonomicheskikh izyskaniy dlya proektirovaniya avtomobilnykh dorog. 1987*]. [Electronic resource]: <http://docs.cntd.ru/document/1200006881>. Last accessed 27.08.2020.
2. Statistical Yearbook: Stat. collection «Yamalo-Nenets Autonomous District in 2 parts». Part II (2017, 2018) [Statisticheskiy ezhegodnik: Stat. sbornik «Yamalo-Nenetskiy avtonomniy okrug v 2 chastyakh». Chast' II (2017, 2018)]. Office of the Federal State Statistics Service for Tyumen region, Khanty-Mansi Autonomous District – Ugra and Yamalo-Nenets Autonomous District. – Tyumen, 2019, 260 p.
3. Estimation of the resident population as of January 1, 2020 and of average for 2019 [Otsenka chislennosti postoyannogo naseleniya na 1 yanvarya 2020 goda i v srednem za 2019 god]. [Electronic resource]: <https://rosstat.gov.ru>. Last accessed 27.08.2020.
4. Collection «Demographic indicators» [Sbornik «Demograficheskie pokazateli»]. Territorial body of the Federal State Statistics Service for Tyumen region, Khanty-Mansi Autonomous District – Ugra and Yamalo-Nenets Autonomous District. [Electronic resource]: https://tumstat.gks.ru/ofstat_ynao. Last accessed 27.08.2020.
5. Statistical collection «Trade in Russia in 2019» [Statisticheskiy sbornik «Torgovlya v Rossii v 2019 godu»]. Moscow, Rosstat, 2019. [Electronic resource]: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Torgov_2019.pdf. Last accessed 27.08.2020.
6. Resolution of the Governor of Yamalo-Nenets Autonomous District dated August 25, 2016 No. 154-PG «On Amendments to the Resolution No. 203-PG dated 25.12.2013 «On Approval of the Investment Strategy of Yamalo-Nenets Autonomous District until 2020» [Postanovlenie Gubernatora Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga ot 25 avgusta 2016 № 154-PG «O vnesenii izmenenii v Postanovlenie № 203-PG ot 25.12.2013 «Ob utverzhdenii investitsionnoi strategii Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga do 2020 goda»]. [Electronic resource]: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/8900201609010017>. Last accessed 27.08.2020.
7. Sagradov, A. A. Introduction to demography [Vvedenie v demografiyu]. Moscow, Infra-M publ., 2011, 629 p.
8. Statistical analysis in demography: Collection of articles [Statisticheskiy analiz v demografii: Sbornik statei]. Ed. by A. G. Volkov. Moscow, Statistika publ., 1980, 165 p.
9. Zaitsev, L. K. Economy of urban construction [Ekonomika gorodskogo stroitelstva]. Moscow, Stroyizdat publ., 1981, pp. 94–96.
10. Arkhangel'sky, V. N. Reproduction of the population of Russia [Vosproizvodstvo naseleniya Rossii]. Moscow, Gardarika publ., 1998, 115 p.
11. Uralnis, B. C. Population: research, journalism [Narodonaselenie: issledovaniya, publitsistika]. Moscow, Lion publ., 1996, 359 p.
12. Echenike, V. H. USA: Demography and business. Scientific and analytical review [SShA: Demografiya i biznes: Nauchno-analiticheskiy obzor]. Moscow, Infra-M publ., 1999, 46 p.
13. Urban Sustainability in the Arctic: Measuring Progress in Circumpolar Cities. Ed. by R. W. Orttung. Berghahn Books, 2020, 310 p., 19 illus., bibliog., index.
14. Heleniak, T., Turunen, E., Wang, S. Demographic Changes in the Arctic. The Palgrave Handbook of Arctic Policy and Politics, 2020, pp. 41–59.
15. Heleniak, T. Boom and Bust: Population Change in Russia's Arctic Cities. In: *Sustaining Russia's Arctic Cities: Resource Politics, Migration, and Climate Change*. Ed. by R. W. Orttung. Berghahn Books, 2017, Ch. 4, pp. 67–87. 274 pages, 30 illus., bibliog., index.
16. T1 Travel Demand Modelling. *Australian Transport Assessment and Planning Guidelines*, 2016, pp. 15–21. [Electronic resource]: https://www.atap.gov.au/sites/default/files/T1_Travel_Demand_Modelling.pdf. Last accessed 27.08.2020.
17. Tsekeris, Th., Tsekeris, C. Demand Forecasting in Transport: Overview and Modelling Advances. *Economic Research [Ekonomika Istra ivanja]*, 2011, Vol. 24, No. 1, pp. 82–94. DOI: 10.1080/1331677X.2011.11517446.
18. Heleniak, T. Migration and population change in the Russian Far North during the 1990s. In: *Migration in the circumpolar North: new concepts and patterns*. Ed. by C. Southcott, L. Huskey, Edmonton, AB, Canadian Circumpolar Institute Press, University of Alberta, 2010, pp. 57–91.
19. Heleniak, T. Growth Poles and Ghost Towns in the Russian Far North. In: *Russia and the North*. Ed. by E. W. Rowe. Ottawa, University of Ottawa Press, 2009, pp. 129–163.
20. Ortuzar, J., De, D., Willumsen, L. G. Modelling Transport. 3rd ed. Wiley, New York, 2009.





Основы методологии управления транспортными потоками на улично-дорожной сети крупного города при светофорном регулировании



Витолин Сергей Владимирович – Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия.*

Сергей ВИТОЛИН

Целью данной статьи является разработка системы принципов и методов, направленных на совершенствование управления транспортными потоками на улично-дорожной сети крупного города при светофорном регулировании. Основанием для данной методологии служат применяемые в России и за рубежом методы повышения безопасности и качества дорожного движения, результаты опроса экспертов в области проектирования автомобильных дорог и организации дорожного движения, наблюдения на регулируемых перекрёстках и анализ аварийности в Волгограде. Первоочерёдным потребительским свойством регулируемого перекрёстка является безопасность дорожного движения. Устранение причин дорожно-транспортных происшествий, связанных с дорожно-транспорт-

ными, конструктивно-геометрическими и сигнально-техническими условиями является важнейшей задачей для регулируемого перекрёстка. В вопросе качества дорожного движения при низких уровнях загрузки сети ориентируются на транспортный спрос, стремятся к повышению комфортабельности поездки, обеспечивая координацию и гибкость работы светофорных объектов. При высоких уровнях загрузки сети ориентируются на пропускные возможности элементов улично-дорожной сети, осуществляют порционный пропуск транспортных средств в перегруженные зоны, кроме того, предлагается увеличивать длительность цикла светофорного регулирования более 120 сек, если это не приводит к снижению безопасности дорожного движения и сетевым заторам.

Ключевые слова: безопасность дорожного движения, качество дорожного движения, регулируемый перекрёсток, улично-дорожная сеть.

*Информация об авторе:

Витолин Сергей Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры изысканий и проектирования транспортных сооружений Волгоградского государственного технического университета, Волгоград, Россия, vitolinsv@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 08.10.2019, принята к публикации 15.05.2020.

For the English text of the article please see p. 152.

Проведённые во Франции исследования [1, с. 11] показали, что в условиях большого города водитель затрачивает в среднем в течение 1 часа движения: 15 минут — на торможение, 10 минут — на остановку перед светофором, 16 минут на трогание с места и разгон автомобиля и лишь 19 минут непосредственно на движение по маршруту. То есть только третья часть времени используется водителями эффективно.

С проблемами перегрузки улично-дорожной сети (УДС) городов в других развитых странах столкнулись раньше России, поэтому естественно обратиться к зарубежному опыту повышения эффективности функционирования дорожно-транспортной сети города [2; 3].

При низких уровнях загрузки сети ориентируются на транспортный спрос, стремятся к повышению комфортабельности поездки, обеспечивая координацию светофорных объектов (СО). При высоких уровнях загрузки сети ориентируются на пропускные возможности элементов УДС, осуществляют порционный пропуск транспортных средств в перегруженные зоны.

Если в Германии значение таких потребительских свойств, как «качество дорожного движения» (уровень обслуживания), «безопасность дорожного движения»

(БДД), равноценно или близко по значимости [4, с. 6], то для условий России с относительно высокими показателями аварийности значимость БДД (18,8 число погибших на 100 тыс. жителей [5, с. 36]) должна быть заметно выше КДД, что и подтверждается результатами экспертного опроса (рис. 1).

Согласно нормативу [7] на УДС Волгограда за 11 месяцев 2018 года были выявлены места концентрации ДТП. На рис. 2 показаны результаты анализа распределения мест концентрации ДТП по типам участков УДС.

Доля мест концентрации ДТП на регулируемых перекрёстках (РП) составляет 32 %. Учитывая концентрированность данных участков, разработка рекомендаций и мероприятий для повышения БДД на РП является важнейшей задачей.

Принцип 1. БДД на РП в приоритете (стремление к нулевой аварийности по причинам, связанным с дорожно-транспортными, сигнально-техническими, конструктивно-геометрическими условиями).

Если в Волгограде на СО сегодня преобладают жёсткие однопрограммные режимы регулирования, и координация режимов осуществляется лишь на отдельных участках УДС, то в Германии сегодня широко распрос-

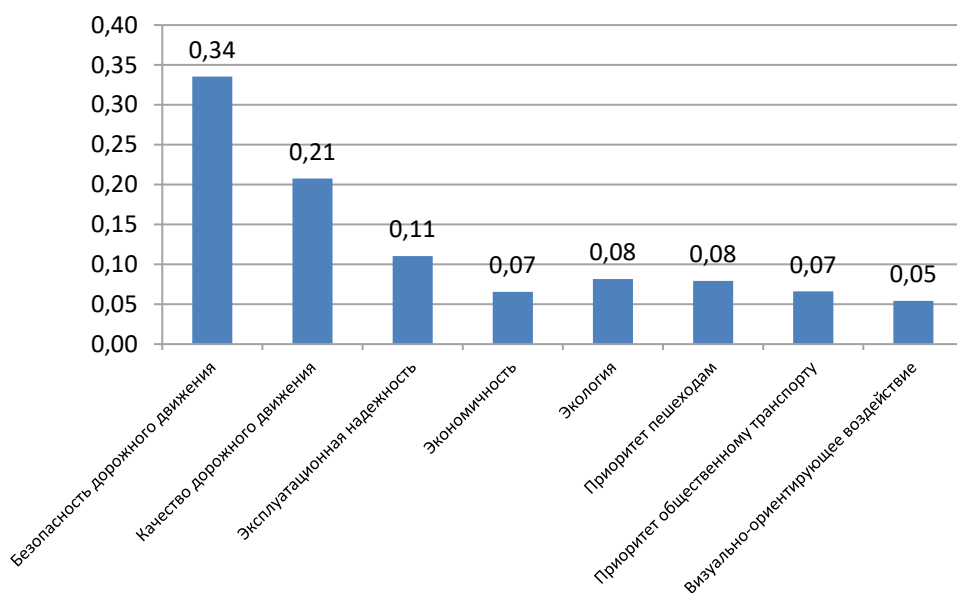


Рис. 1. Значимость целевых потребительских свойств РП (результат опроса экспертов) [6].

Количество мест концентрации ДТП

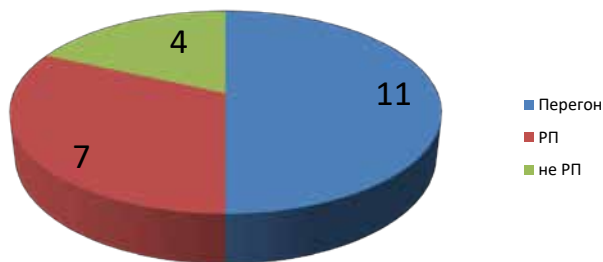


Рис. 2. Распределение мест концентрации ДТП в Волгограде за 11 месяцев 2018 г.

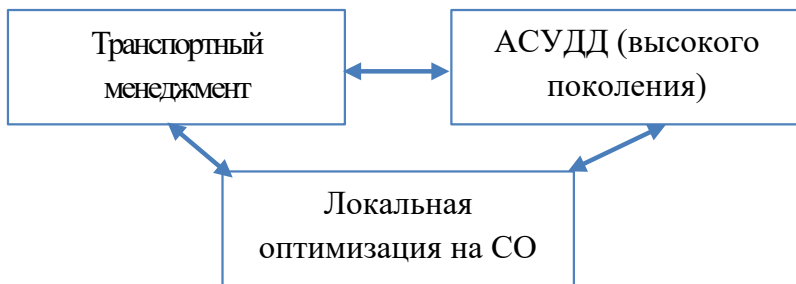


Рис. 3. Структурная схема управления транспортными потоками при перегрузках с использованием светофоров.

транены гибкое регулирование, обеспечение приоритета общественному транспорту, сетевое управление. Только третья часть СО в Германии имеет жёсткое регулирование [8, с. 352], тогда как на двух из трёх СО осуществляется гибкое регулирование.

Принцип 2. В условиях низких и средних загрузок РП оптимизация комфортности поездок (координация СО) + адаптивность регулирования.

Психолог А. Маслоу (1908–1970) полагал, что человеком в современных условиях движет, прежде всего, потребность снижения напряжения и сохранение внутреннего равновесия. Очевидно, что продолжительные задержки перед РП приводят к напряжению водителей и пассажиров и потере внутреннего равновесия. Перегрузки неизбежны в жизни человека. При этом человек, как и машина, долго в состоянии перегрузок существовать не может. Транспортная перегрузка (всплеск интенсивности дорожного движения) требует устранения, чтобы состояние выровнялось. Поэтому нужно

стремиться к скорейшему устранению состояния перегрузки.

На основе системного анализа методов управления транспортными потоками на УДС города [2] предлагается следующая система повышения эффективности функционирования с использованием СО при перегрузках (рис. 3).

Локальная оптимизация может заключаться в увеличении числа светофорных программ, продлении длительности действия светофорной программы и цикла регулирования даже более рекомендуемого значения 120 с (если это не приводит к снижению БДД и сетевым заторам).

Принцип 3. В условиях транспортных перегрузок: при возможности увеличиваем длительность цикла регулирования, осуществляем дозирование транспортных средств в перегруженные области, применяем систему транспортного менеджмента.

В рамках транспортного менеджмента на основе оценки длин очередей перед СО [9] водителям должна сообщаться

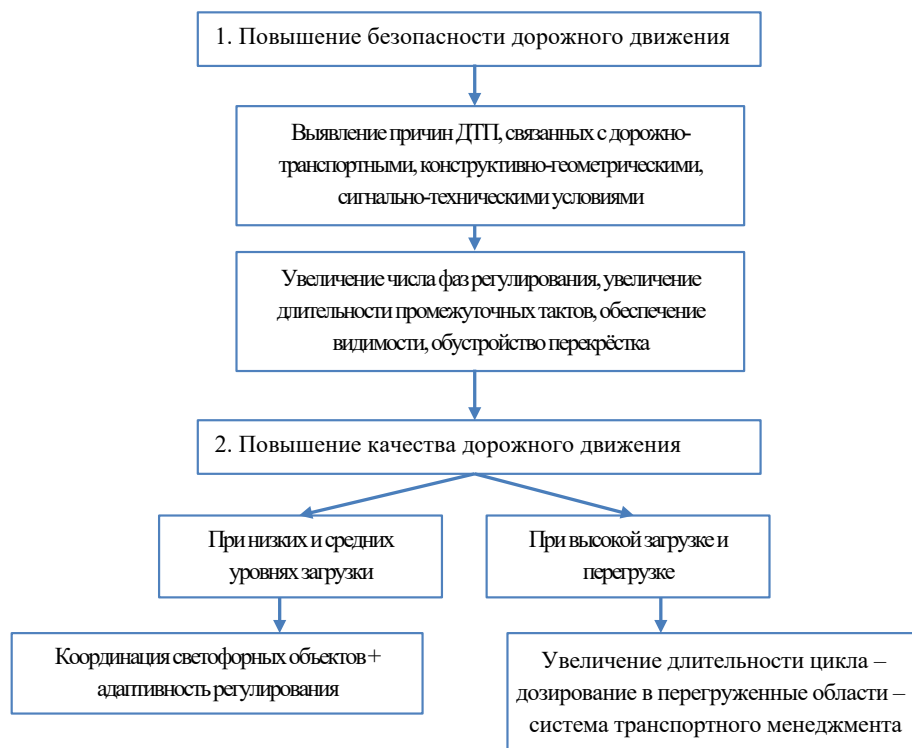


Рис. 4. Основы методологии управления транспортными потоками в крупном городе при светофорном регулировании.

информация для принятия ими решения о выборе маршрута движения.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ

На основе системного анализа, применяемых в России и за рубежом методов повышения безопасности и качества дорожного движения, результатов экспертного опроса и наблюдений предлагаются следующие основы методологии управления транспортными потоками в крупном городе при светофорном регулировании (рис. 4).

Предлагаемая методология требует детализации и проверки для условий функционирования дорожно-транспортной отрасли России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буйленко В. Я., Жанказиев С. В., Дементенко В. В., Короткова Ю. А., Гаврилюк М. В. Психологические особенности человека при управлении автомобилем: Учеб. пособие. – М.: МАДИ, 2017. – 172 с.
2. Виталин С. В. Управление транспортными потоками при перегрузках на улично-дорожной сети города // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2017. – № 12. – С. 211–219. DOI: 10.21285/1814-3520-2017-12-211-219.
3. Schwerzmann, D. A. Busfahren im Stau. Herausforderungen und Lösungsansätze im Kanton

Aargau. Verkehrsmanagement im Kanton Aargau. VöV-Fachtagung, 25 May 2016, 30 p. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-transportnymi-potokami-pri-peregruzkah-na-ulichno-dorozhnoy-seti-goroda/>. Доступ 08.10.2019.

4. Bosserhoff, D. Qualitätssicherung an Lichtsignalanlagen, Handbuch für Verkehrssicherheit und Verkehrstechnik der Hessischen Straßen- und Verkehrsverwaltung – ein Projektbereich von «Staufreies Hessen 2015», Hessisches Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen, 2008, 15 p. [Электронный ресурс]: https://www.dietmar-bosserhoff.de/download/SVT_2006_Bosserhoff.pdf. Доступ 08.10.2019.

5. Капский Д. В. Методология повышения качества дорожного движения. – Минск: БНТУ, 2018. – 372 с.

6. Виталин С. В. Совершенствование транспортных потребительских свойств изолированных регулируемых перекрёстков улично-дорожной сети города / Дис... канд. техн. наук. – Волгоград, ВолгГАСУ, 2014. – 169 с.

7. ОДМ 218.6.015-2015 рекомендации по учёту и анализу дорожно-транспортных происшествий на автомобильных дорогах Российской Федерации ФГБУ «РОСДОРНИИ», 2015. – 78 с.

8. Amones (Anwendung und Analyse modellbasierter Netzsteuerungsverfahren in städtischen Straßennetzen), Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2010, 388 p. [Электронный ресурс]: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1128860/1128860.pdf>. Доступ 11.10.2019.

9. Виталин С. В. Анализ изменения длины очереди автомобилей перед регулируемым перекрёстком при перегрузке // Транспорт Урала. – 2018. – № 2. – С. 80–84. DOI: 10.20291/1815-9400-2018-2-80-84.





Basic Methodology of Traffic Management for the Street and Road Network of a Large City with Traffic Lights Regulation



Vitolin, Sergey V., Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia.

Sergey V. VITOLIN

ABSTRACT

The objective of the article is to develop a system of principles and methods aimed at improving management of transport flows on the street and road network of a large city with traffic lights regulation. The suggested methodology is based on the methods used in Russia and abroad to improve road traffic safety and quality, results of a survey of experts in the field of road design and traffic management, monitoring at regulated crossings, and analysis of road accidents in the city of Volgograd.

The primary customer property of a regulated crossing is road safety. Elimination of causes of road traffic accidents associated with

road traffic, structural geometric, signalling, and technical conditions is the most important task regarding a regulated crossing. Enhancing road traffic quality at low levels of network load supposed considering demand for transportation, increase in travel comfort, coordination, and flexibility of traffic lights operation. High degree of network load supposes that more attention is paid to traffic capacity of the street and road network elements, restrained access of vehicles to areas of greater congestion, increased duration of a green light cycle (for more than 120 seconds, if this does not affect traffic safety and network congestion degree).

Keywords: *road traffic safety, road traffic quality, regulated crossing, street and road network.*

*Information about the author:

Vitolin, Sergey V. – Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Survey and Design of Transport Facilities of Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia, vitolinsv@mail.ru.

Article received 08.10.2019, accepted 15.05.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 148.

Studies conducted in France [1, p. 11] have shown that in a large city out of 1 hour of driving time the driver spends: 15 minutes on braking, 10 minutes on stopping at crossings in front of traffic lights, 16 minutes on starting and accelerating the car, and only 19 minutes on direct driving along the route. That is, only a third of time is used efficiently by drivers.

Other developed countries have faced the problem of overload of the street and road network (SRN) of the cities before Russia, so it is natural to address foreign experience in improving efficiency of SRN operation [2; 3].

At low levels of network load, first, demand for transportation, increase in travel comfort, coordination, and flexibility of traffic lights (TL) operation are focused. High degree of network load supposes that more attention is paid to traffic capacity of the street and road network elements, to restraining the access of vehicles to areas of greater congestion, to increased duration of a green light cycle (for more than 120 seconds, if this does not affect traffic safety and network congestion degree).

If in Germany the values of such customer properties as «road traffic quality» (RTQ, service level), «road traffic safety» (RTS) are

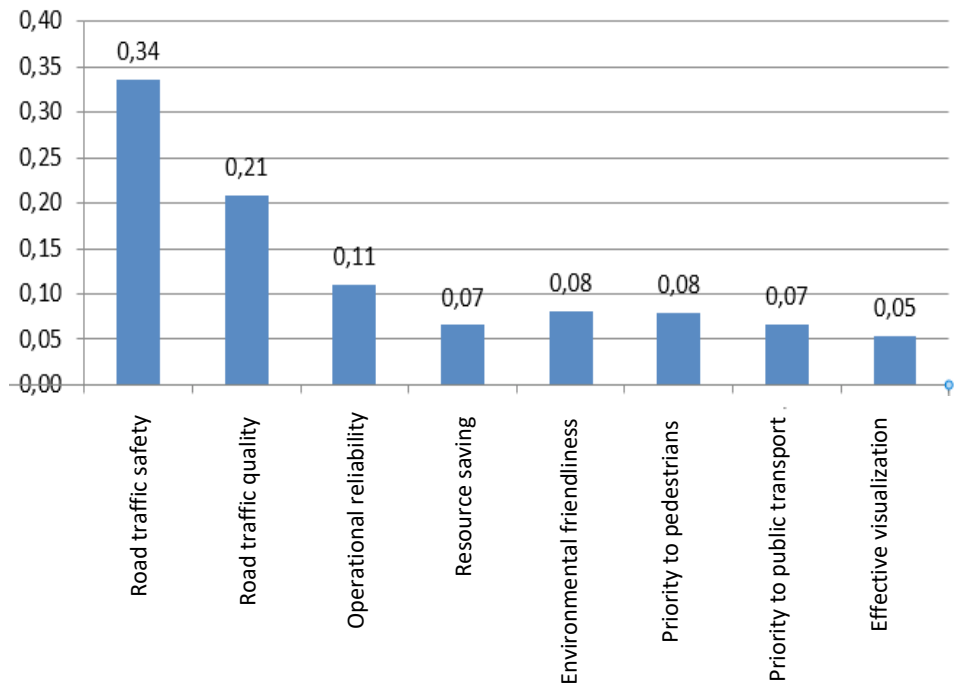
equal or close [4, p. 6], then for Russia where accident rates are relatively high (18,8 deaths per 100 thousand inhabitants [5, p. 36]) RTS should be significantly more important than RTQ, and this was confirmed some years ago by the results of an expert survey conducted by the author (Pic. 1).

Following the standard [7], sites of SRN of Volgograd where accidents had been most frequent for 11 months of 2018 were identified. Pic. 2 shows the results of the analysis of distribution of points of frequent road accidents by types of sections of SRN.

The share of road accidents at regulated intersections is equal to 32 %. Given the concentration of road accidents at those regulated crossings, the most important task is to develop recommendations and measures to improve road traffic safety at them.

Principle 1. Road traffic safety at regulated crossings is a priority (the goal is to achieve zero accident rate regarding accidents caused by road, signalling, technical, structural, and geometric conditions).

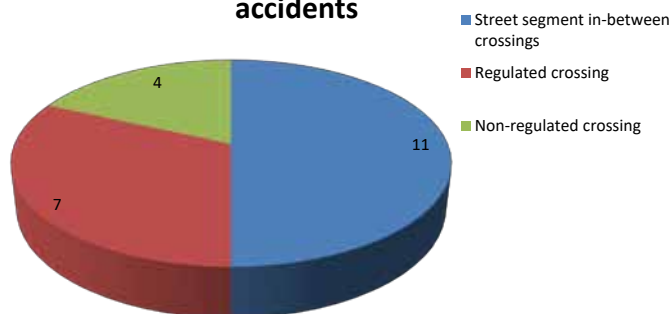
If in Volgograd TL are mostly operated in a rigid single-program mode and are rarely coordinated (except for some street segments), then in Germany flexible regulation, ensuring



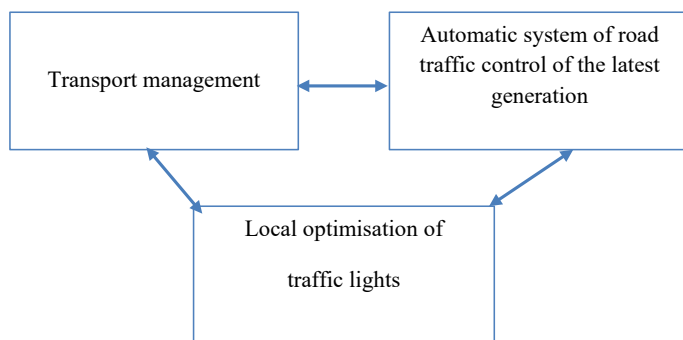
Pic. 1. Relative importance of customer properties regarding regulated crossing (results of experts' survey) [6].



Number of considered locations of road accidents



Pic. 2. Locations of most frequent road accidents in Volgograd for 11 months of 2018.



Pic. 3. Structural chart of control of transportation flows in case of overload (traffic congestion) using traffic lights.

priority for public transport, and network management are widespread. Only a third of traffic lights in Germany are controlled through a rigid mode [8, p. 352]. Two of three TL work in a flexible mode.

Principle 2. Under the conditions of low and medium load on regulated crossings we need optimization of travel comfort (coordination of traffic lights, [a «green road»]) and adaptability of regulation.

Psychologist A. Maslow (1908–1970) believed that a person in modern conditions is driven, first, by the need to reduce stress and maintain internal balance. Obviously, long delays in front of regulated crossings result in stress for drivers and passengers and in loss of internal balance. Overload is inevitable in human life. At the same time, a person, like a vehicle or other machine, cannot exist for a long time in a state of overload. Transport congestion (peak of traffic intensity) needs to be eliminated for the driver could recover. Therefore, it is necessary to strive for speedy elimination of the overload condition.

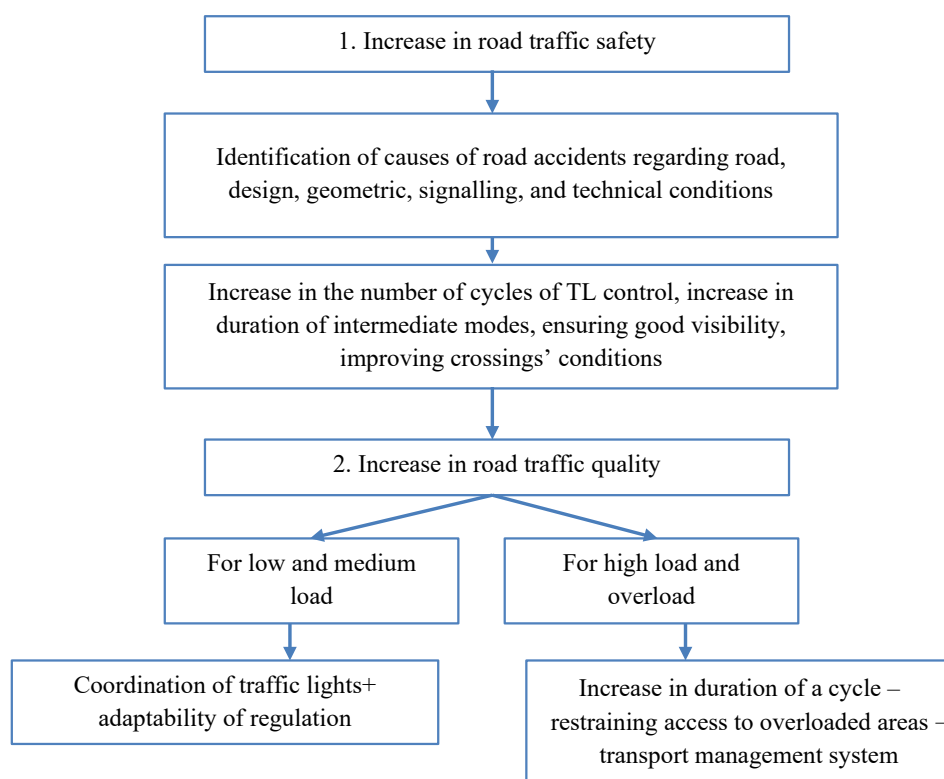
Based on the system analysis of transport flow management methods at the city's SRN [2], the following system is proposed to increase the efficiency of operation of traffic lights during congestion (Pic. 3).

Local optimisation may consist in increasing the number of different traffic light modes, extending duration of the traffic light mode and of the control cycle (even over recommended value of 120 seconds if this does not affect road traffic safety and does not provoke network congestion).

Principle 3. Under the conditions of traffic congestion if possible we should increase duration of the control cycle, regulate or restrain access of vehicles into overloaded areas, and use a transport management system.

As part of transport management, based on the assessment of lengths of queuing lines in front of traffic lights [9], the drivers should be provided with information for they could decide on the choice of further route.

Suggestions. Based on the system analysis of the methods used in Russia and abroad to improve road traffic safety and traffic quality,



Pic. 4. Basic methodology of management of transport flows in a large city with traffic lights.

of results of expert surveys and field observations, the following principles of a basic transport flow management methodology in a large city are proposed particularly regarding traffic lights operation (Pic. 4).

The proposed methodology requires further detailed development and verification for operating conditions of the Russian road transport.

REFERENCES

1. Builenko, V. Ya., Zhankaziev, S. V., Dementienko, V. V., Korotkova, Yu. A., Gavriyuk, M. V. Psychological characteristics of a person when driving a motor vehicle: Study guide [*Psikhologicheskie osobennosti cheloveka pri upravlenii avtomobilnym transportom: Ucheb. posobie*]. Moscow, MADI publ., 2017, 172 p.
2. Vitolin, S. V. Management of transport flows during congestion on the street and road network of the city [*Upravlenie transportnymi potokami pri peregruzkakh na ulichno-dorozhnoi seti goroda*]. Bulletin of Irkutsk State Technical University, 2017, Iss. 12, pp. 211–219. DOI: 10.21285/1814-3520-2017-12-211-219.
3. Schwerzmann, D. A. Busfahren im Stau. Herausforderungen und Lösungsansätze im Kanton Aargau. Verkehrsmanagement im Kanton Aargau. VöV-Fachtagung, 25 May 2016, 30 p. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-transportnymi-potokami-pri-peregruzkah-na-ulichno-dorozhnoy-seti-goroda/>. Last accessed 08.10.2019.

4. Bosserhoff, D. Qualitätssicherung an Lichtsignalanlagen, Handbuch für Verkehrssicherheit und Verkehrstechnik der Hessischen Straßen- und Verkehrsverwaltung – ein Projektbereich von «Staufreies Hessen 2015», Hessisches Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen, 2008, 15 p. [Electronic resource]: https://www.dietmar-bosserhoff.de/download/SVT_2006_Bosserhoff.pdf. Last accessed 08.10.2019.

5. Kapsky, D. V. Methodology for improving quality of road traffic [*Metodologiya povysheniya kachestva dorozhnogo dvizheniya*]. Minsk, BNTU, 2018, 372 p.

6. Vitolin, S. V. Improvement of transport consumer properties of isolated regulated intersections of the city's street-road network. Ph.D. (Eng) thesis [*Sovershenstvovanie transportnykh potrebitelskikh svoystv izoliruemyykh perekrestkov ulichno-dorozhnoi seti goroda. Dis... kand. tekh. nauk*]. Volgograd, VolgGASU, 2014, 169 p.

7. ODM 218.6.015-2015 recommendations for accounting and analysis of road traffic accidents on the roads of the Russian Federation FSBI ROSDORNI, 2015, 78 p.

8. Amones (Anwendung und Analyse modellbasierter Netzsteuerungsverfahren in städtischen Straßennetzen), Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2010, 388 p. [Electronic resource]: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1128860/1128860.pdf>. Last accessed 11.10.2019.

9. Vitolin, S. V. Analysis of changes in the length of the queue of cars in front of a regulated intersection during overload [*Analiz izmeneniya dliny ocheredi avtomobilei pered reguliruemym perekrestkom pri peregruzke*]. Transport Urala, 2018, Iss. 2, pp. 80–84. DOI: 10.20291/1815-9400-2018-2-80-84.





Специфика организации транспортно-логистического кластера с приоритетом развития интеллектуальных транспортных технологий



Елена БУДРИНА



Анна ЛЕБЕДЕВА



Лариса РОГАВИЧЕНЕ



Катерина КВИТКО

Будрина Елена Викторовна — Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия.

Лебедева Анна Сергеевна — Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия.

Рогавичене Лариса Ивановна — Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия.

Квитко Катерина Борисовна — Вологодский научный центр Российской академии наук, Вологда, Россия*.

В статье исследованы перспективы организации кластера как эффективного инструмента обеспечения связанности территорий РФ за счёт системного и комплексного внедрения интеллектуальных транспортных технологий, что соответствует стратегическим направлениям развития транспорта РФ и определяет актуальность темы. Целью исследования является определение специфики организации транспортно-логистического кластера с приоритетом развития интеллектуальных транспортных технологий посредством анализа перспективы развития данных технологий в рамках кластера, изучения вариативности характеристик и структуры кластера при различных условиях его формирования на основе методов формальной логики, группировки, анализа статистических данных, нормативно-правовой информации, синтеза информации. В результате исследования авторами выделены предпосыл-

ки наиболее быстрого развития и эффективной реализации интеллектуальных транспортных систем в рамках кластера. Обоснована целесообразность применения данного подхода, несмотря на его трудоёмкость и затратность. В исследовании конкретизировано определение инновационного транспортно-логистического кластера. Приведена характеристика транспортно-логистического кластера с приоритетом развития интеллектуальных транспортных технологий, зависящая от условия его формирования. В результате исследования выявлена специфика организации данного кластера, которая, прежде всего, определяется наличием двойственных характеристик. Особенности формирования кластера отражены в предложенной структуре исследуемого кластера. Также определена роль государства в организации инновационного транспортно-логистического кластера.

Ключевые слова: интеллектуальные технологии, системы, инновации, кластер, транспортно-логистический комплекс, региональное развитие.

*Информация об авторах:

Будрина Елена Викторовна — доктор экономических наук, ординарный профессор факультета Технологического менеджмента и инноваций Национального исследовательского университета ИТМО, Санкт-Петербург, Россия, boudrina@mail.ru.

Лебедева Анна Сергеевна — кандидат экономических наук, ординарный доцент факультета Технологического менеджмента и инноваций Национального исследовательского университета ИТМО, Санкт-Петербург, hebo@rambler.ru.

Рогавичене Лариса Ивановна — кандидат экономических наук, ординарный доцент факультета Технологического менеджмента и инноваций Национального исследовательского университета ИТМО, Санкт-Петербург, Россия, Rogavichene@list.ru.

Квитко Катерина Борисовна — аспирант Вологодского научного центра Российской академии наук, Вологда, Россия, kbkvitko@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 16.07.2020, принята к публикации 21.10.2020.

For the English text of the article please see p. 166.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях глобализации, которая является неотъемлемой частью развития современного экономического общества, актуальным становится повышение конкурентоспособности отдельных территорий, регионов, отраслей на основе инновационных подходов с целью сохранения или формирования приоритетного права влияния на экономические явления в процессе унификации и интеграции. Основные направления технологического развития Российской Федерации сформулированы в программе национальной технологической инициативы, представленной Федеральному собранию в 2014 году Президентом РФ. Одним из ключевых рынков развития национальной технологической инициативы назван Autonet — рынок «по развитию услуг, систем и современных транспортных средств на основе интеллектуальных платформ, сетей и инфраструктуры в логистике людей и вещей» [1], так как именно данные технологии способны стимулировать качественные изменения в различных отраслях: транспорте, строительстве, торговле и многих других за счёт интеграции информационно-коммуникационных технологий применительно к ключевым составляющим транспортного процесса. Построение эффективных интеллектуальных транспортных систем позволит достичь отвечающего современным требованиям уровня научно-технического развития и качества транспортного обслуживания.

В рамках данного исследования выдвигается гипотеза о том, что реализация интеллектуальных транспортных систем наиболее эффективна в рамках формирования «экосистемы» для разработки и внедрения инноваций, которая, в свою очередь, связывает всех основных участников транспортно-логистического процесса. Данные «экосистемы» — это кластеры, которые, как правило, представляют собой результат естественного притяжения и скопления взаимодействующих друг с другом элементов транспортной системы. При этом, получая статус кластера, естественное образование приобретает формализованную структуру, общую стратегию развития,

государственную поддержку, что существенно ускоряет разработку и внедрение инновационных технологий, повышает эффективность их использования за счёт системности и комплексности решений. В рамках кластеров существует возможность соединить технологические компании, их поставщиков, а также различные организации, оказывающие научно-исследовательскую, кадровую, а также административную поддержку этим организациям. Кластеризация региональных транспортно-логистических комплексов обуславливает не только более стремительное технологическое развитие интеллектуальных технологий в РФ при сокращении логистических издержек, но и позволяет оперативно влиять на изменение нормативно-правовой базы. За счёт вовлечения университетов существует возможность создавать программы подготовки кадров, необходимых в будущем для поддержания и дальнейшего развития технологии. Таким образом, происходит комплексное влияние на различные сферы деятельности, ускоряющее процесс адаптации и возможного внедрения технологии на рынке России.

Таким образом, высокая потребность в выявлении инструментов эффективной реализации интеллектуальных систем управления транспортом в рамках естественного процесса кластеризации региональных транспортно-логистических комплексов обуславливает актуальность и практическую значимость темы исследования.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

С целью выявления специфики организации транспортно-логистического кластера (ТЛК) с приоритетом развития интеллектуальных транспортных технологий необходимо определить предпосылки развития данного вида инновационных технологий в рамках кластерного образования, исследовать возможные характеристики кластера при различных условиях его формирования, описать его структуру.

Решение поставленных задач предполагает использование методов формальной логики, группировки, анализа статистических данных, нормативно-правовой информации, синтеза информации.



СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ДАННОЙ ПРОБЛЕМЕ

В настоящее время вопросам, связанным с интеллектуальными системами на транспорте, посвящается немало научных работ, что ещё раз подтверждает актуальность выбранной тематики. В основном это работы научных сотрудников транспортных вузов или транспортных кафедр вузов, а также работников крупных транспортно-логистических компаний. География исследований охватывает все развитые и развивающиеся страны. В научной литературе преобладают следующие направления исследования в рамках данной тематики:

- преимущества, задачи и цели, проблемы использования интеллектуальных транспортных систем, как инструмента повышения эффективности экономики [2–4];
- рассмотрение перспектив внедрения интеллектуальных транспортных систем на одном из видов транспорта [2; 5];
- описание и оценка одной из технологий интеллектуальных транспортных систем [6; 7];
- сравнительный анализ некоторых интеллектуальных транспортных технологий [6].

Исследований в сфере теоретических основ кластеризации также немало, однако проблематика формирования транспортно-логистических кластеров практически не изучена и представлена отдельными работами, которые в основном посвящены общим вопросам развития транспортных кластеров [8–10] или перспективам и условиям формирования кластера в конкретном регионе [11].

Несмотря на значительный интерес в научной сфере к проблемам разработки и внедрения интеллектуальных систем управления транспортом, а также к изучению тенденции образования кластеров, исследовательских работ, рассматривающих данные проблематики во взаимосвязи, не обнаружено. В то же время представляется, что в рамках инновационного ТЛК темпы развития данной группы инновационных технологий будут гораздо выше.

ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗВИТИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РАМКАХ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОГО КЛАСТЕРА

Транспорт является ключевым фактором обеспечения связанности территории любой страны, любого региона. Для Российской Федерации, протяжённость которой с севера на юг составляет более 4000 км, а с запада на восток более 9000 км, территориальное взаимодействие имеет особое значение. Поэтому создание условий для эффективной работы транспортно-логистического комплекса страны — это одно из приоритетных стратегических направлений развития страны как в любом историческом периоде, так и в настоящем и будущем времени.

Это возможно только при условии внедрения инноваций, способных решить существующие проблемы транспорта, обеспечивающих качественный рост транспортно-логистического комплекса страны, сформировать условия взаимодействия различных видов транспорта. К таким инновациям относятся интеллектуальные транспортные технологии, которые представляют собой группу инновационных разработок, направленных на создание информационных потоков с целью управления транспортным движением в режиме реального времени за счёт моделирования транспортных систем.

Данные технологии способны достичь следующих результатов:

- предоставить конечным потребителям необходимую информацию;
- повысить безопасность участников дорожного движения;
- качественно повысить уровень взаимодействия участников движения;
- перераспределить нагрузку и снизить плотность дорожного движения, сокращая вероятность образования заторов;
- снизить расход топлива, что положительно отразится на экологической безопасности страны;
- снизить уровень негативного влияния на психоэмоциональное состояние участников движения [12].

Таким образом, интеллектуальные транспортные технологии выступают в ка-

честве связующего элемента заинтересованных сторон, позволяющего устранить существующий в настоящее время разрыв в плане устойчивости между транспортными системами, который обусловлен ростом объёмов транспортной работы и количеством транспортных средств, требований к качеству и скорости транспортного обслуживания, высокой загруженностью транспортных путей, значительной долей транспортной составляющей в стоимости конечного продукта и другими социальными, технологическими и экологическими факторами.

Многофункциональность и востребованность данной группы инноваций определили появление множества различных технологий в этой области, которые разрабатываются как подведомственными государству организациями, так и частными компаниями, специализирующимися на интеллектуальных транспортных технологиях.

Интеллектуальные транспортные технологии могут представлять как простые навигационные системы, системы регулирования объектов дорожного движения, предупреждающих знаков, устройств распознавания и считывания скорости и данных транспортных средств, так и более комплексные системы видеонаблюдения, позволяющие собирать и обрабатывать значительные по объёму данные из разных источников, таких как метеослужбы, системы управления мостами, парковками (Parking guidance and information (PGI) systems) и прочих.

Однако разнообразие предлагаемых на рынке продуктов не обеспечивает переход транспортно-логистического комплекса страны на принципиально новый эволюционный уровень. Более того, такой подход тормозит его развитие и увеличивает разрыв с более инновационно-развитыми странами за счёт снижения уровня интеграции и взаимодействия участников рынка транспортных услуг.

Это объясняется тем, что внедрение существующих разработок происходит точно, бессистемно. Нет принципиального понимания, какие именно инновации необходимо внедрять в каких масштабах, регионах, какие будут получены эффекты. Масштабы применяемых технологий огра-

ничиваются отдельными городами, районами с целью решения отдельных муниципальных проблем, без тенденции к дальнейшей глобализации. Как правило, используемые интеллектуальные технологии имеют разных разработчиков и, соответственно, не связаны в единую сеть, зачастую не имеют технической возможности к интеграции друг с другом. Иными словами, не возникают ожидаемых глобализационных процессов и синергетических эффектов для регионов и страны в целом.

В то же время опыт зарубежных стран свидетельствует о наличии значительных положительных эффектов в результате внедрения интеллектуальных транспортных систем. Например, в Стокгольме данные технологии позволили снизить вероятность заторов на 20 %, повысить экологическую безопасность транспорта мегаполиса за счёт сокращения вредных выбросов на 12 %, активно стимулировать население к использованию общественных видов транспорта. В Сеуле, городе с высоким показателем автомобилизации населения, благодаря внедрению интеллектуальных систем средняя скорость движения возросла на 20 %. При этом возникающий социальный эффект обуславливает и экономический эффект в виде сокращения различных статей расходов бюджетов городов и стран. Общая экономия после внедрения интеллектуальных транспортных систем в Южной Корее, например, составила около 1,5 млрд долларов в год, а в одном из штатов в США расходы на обработку дорог в зимнее время были уменьшены на 62 % [13]. Указанные данные опираются на фактические результаты. В отечественной практике представлены только прогнозы результатов от внедрения интеллектуальных технологий для транспортной системы, основанные преимущественно на экспертных оценках без учёта конкретных инновационных технологий и факторов их реализации в отдельных регионах, которые будут существенно различаться.

В настоящее время накоплен практический опыт зарубежных стран по проектированию и внедрению интеллектуальных систем, в том числе в рамках существующих транспортно-логистических комплексов. Например, в США для обоснования



проекта по внедрению интеллектуальных транспортных систем выполняется многоуровневая процедура оценок экспертами в различных областях с использованием специально разработанных методов (метод сценарирования) и программных продуктов для принятия управленческого решения о внедрении технического решения на государственном уровне (MICA, PRUEVIN, IDAS, SCRITS, CAL-B/C и др.). Проектирование данных систем в Европе основано на более тщательном научном подходе, чем в других странах. Аналогично, как и в странах Европы, формирование проектов происходит и в Японии: просчитывается внутренняя специфика и план последующего воздействия, план деградации системы и последующей её модернизации. По причине капиталоемкости и сложности процедур в отечественной практике этапы оценки внедрения интеллектуальных транспортных систем упрощены, что приводит к тому, что внедряемые системы управления описываются и создаются, по существу, как комплект аппаратуры (например, система «Старт» г. Москвы) [14].

Инструментом решения данной проблемы является формирование кластеров, в частности, инновационных кластеров, основная задача которых заключается в активизации инновационных процессов определенной сферы и повышение инновационной активности и эффективности инновационной деятельности не только отдельных субъектов рынка, но и страны в целом. При этом данная группа инновационных технологий, в первую очередь, относится к транспортному комплексу, а, следовательно, реализуется в рамках региональных транспортно-логистических комплексов страны, которые в настоящее время подвержены общему процессу кластеризации [15]. Следует отметить, что, несмотря на принятие в рамках долгосрочной стратегии социально-экономического развития РФ до 2030 года решения о создании сети инновационных и территориально-производственных кластеров [16] и тенденцию кластеризации в сфере транспорта, не выделено ни одного ТЛК с присвоением ему официального статуса. Это определяет не только отсутствие единой стратегии развития и нехватку государ-

ственной поддержки в форме финансирования и нормативно-правового регулирования взаимодействия участников, тяготеющих к кластеризации транспортных комплексов страны, но и низкий уровень эффективности их инновационной составляющей.

Выявленные предпосылки обуславливают целесообразность определения специфических условий формирования ТЛК с высоким уровнем развития инновационных технологий в сфере интеллектуального управления транспортом страны.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И СТРУКТУРЫ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОГО КЛАСТЕРА С ПРИОРИТЕТОМ РАЗВИТИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

С целью выявления специфики организации ТЛК с приоритетом развития интеллектуальных транспортных технологий необходимо определить его тип и основные характеристики.

Так как нет официально выделенного ТЛК или инновационного кластера, ориентированного на создание интеллектуальных транспортных технологий в Российской Федерации, то рассматривается потенциальный тип кластера. Существует два варианта формирования данного кластера: самоорганизация в рамках существующих условий без формального статуса, организация формального кластера с присвоением официального статуса. При условии присвоения официального статуса он станет вторичным, изменится ряд его характеристик, например, степень контроля со стороны государства. Поэтому в табл. 1 отражена характеристика данного кластера как при существующих условиях, так и при условии присвоения официального статуса кластера.

Следует обратить внимание на наличие двойственных характеристик. Так, с одной стороны, ТЛК ориентирован на предоставление услуг, с другой стороны – разработка и внедрение инноваций требуют наличие производственных мощностей. Данный кластер предполагает как тесную связь с конкретной отраслью, так и региональное развитие. Это обусловлено тем, что данный вид кластера объединяет в себе два типа

Характеристика транспортно-логистического кластера (ТЛК) с приоритетом развития интеллектуальных транспортных технологий

Признак	Характеристика кластера в условиях самоорганизации	Характеристика кластера при условии присвоения официального статуса
Юридическое оформление, статус	Первичный (невьявленный)	Вторичный (явный)
В зависимости от характера кластерообразующей отрасли	Инновационный Транспортно-логистический	Инновационный Транспортно-логистический
Результат деятельности	Транспортно-логистические услуги Создание интеллектуальных транспортных технологий	Транспортно-логистические услуги Создание интеллектуальных транспортных технологий
Ориентация на развитие	Отраслевой Региональный	Отраслевой Региональный
Степень участия государства	Пассивное (поддержка в части инновационной составляющей)	Активное (нормативно-правовое регулирование, финансовая поддержка и др.)
Степень связанности участников кластера	Слабые связи, латентные	Сильные, устойчивые
Роль ожидания участников	Множественность ролей у каждого участника Нечёткие ролевые функции	Ролевая конкретизация участников Чёткие ролевые функции
Управление	Децентрализованное	Централизованное
Целеполагание	Целевой	Целевой
Географическая концентрация	Город Регион	Город Регион
Природа происхождения	Спонтанный	Осознанный
Ключевые мотивы формирования	Продуктоориентированный	Продуктоориентированный
Ожидаемая эффективность	Низкая или средняя	Высокая

Источник: составлено авторами.

кластеров: транспортно-логистический и инновационный.

Транспортно-логистический кластер (ТЛК) – это комплекс инфраструктуры и компаний, специализирующихся на хранении, сопровождении и доставке грузов и пассажиров, то есть выполнении различных транспортно-логистических операций [17]. Основная цель данного кластера заключается в создании эффективного управления технологическими цепочками перемещения грузопотоков от поставщиков сырья, производственных структур до потребителей [18]. С одной стороны, он предполагает развитие транспортной отрасли, с другой стороны, направлен на рост логистического потенциала территории. Кроме того, транспорт является связующим звеном остальных отраслей экономики, что определяет, межотраслевой характер кластера. Также особенностью ТЛК является потребность не только в наличии основных предприятий, оказывающих транспортно-логистические услуги, но и в развитой транспортной инфраструкту-

ре. Поэтому, как правило, данный тип кластеров образуется на территориях, имеющих существенный транзитный потенциал, например, в портовых городах, крупных транспортно-логистических узлах, в зоне международных транспортных коридоров.

Инновационный кластер – это «неформальное объединение усилий различных организаций (промышленных компаний, исследовательских центров, вузов, государственных научных учреждений и др.), способных осуществлять трансферт новых знаний, научных открытий и изобретений, преобразуя их в инновации, востребованные рынком» [17]. Данный тип кластера представляет собой надсистему, так как может быть связан с различными отраслями и кластерами других типов. Основной целью инновационного кластера являются инновации, причём как производственного, так и социального, управленческого и иного характера. Для инновационного кластера важным является развитость инфраструктуры интеллектуального и финан-



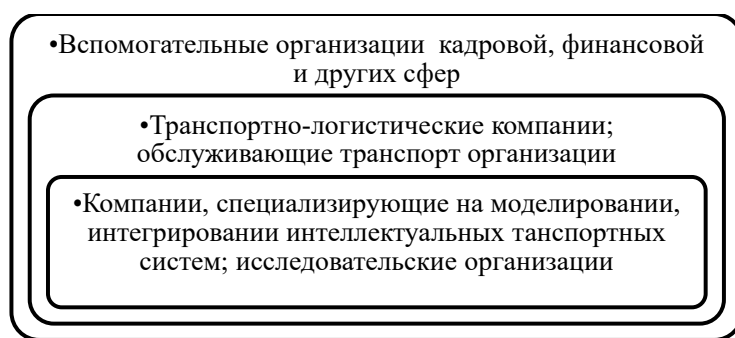


Рис. 1. Структура транспортно-логистического кластера (ТЛК) с приоритетом развития интеллектуальных транспортных технологий. Источник: составлено авторами.

сового капитала. Именно инновационный кластер способен ускорить процесс создания и коммерциализации инноваций, что необходимо для гармоничного развития и внедрения интеллектуальных транспортных технологий.

В Российской Федерации существует немало транспортно-логистических комплексов со значительным потенциалом развития отрасли и организации кластера. При этом следует отметить их низкую инновационную активность в целом, несмотря на наличие отдельных инновационных достижений в сфере железнодорожного и авиатранспорта. Системный, комплексный подход к разработке и внедрению радикальных инноваций, не заимствованных из мировой практики, способны осуществлять крупные отечественные компании с государственной поддержкой и значительным объёмом финансовых и материально-технических ресурсов. Сложившаяся ситуация требует иного подхода к формированию ТЛК с акцентом на инновационную составляющую. Следовательно, целесообразно определить тип кластера, соответствующего цели исследования, как инновационный транспортно-логистический.

Инновационный транспортно-логистический кластер (ИТЛК) — группа взаимосвязанных субъектов рынка транспортных услуг с присущими ей чертами кластерного образования, ядром которой являются ключевые организации, специализирующиеся на разработке и внедрении инновационных транспортных технологий.

Наличие двойственных характеристик кластера обуславливает специфику его

структуры. Требуемый тип кластера для обеспечения развития интеллектуальных транспортных технологий должен обладать ресурсами производственного (сфера информационных технологий), транспортно-логистического и инновационного кластеров.

Любой кластер предполагает трёхуровневую структуру: основа кластера («ключевые компании»); обслуживающие «ключевые» компании организации; вспомогательные, обеспечивающие различными ресурсами участников кластера участники. В результате анализа структур производственного, транспортно-логистического и инновационного кластера [15] нами была определена структура кластера требуемого типа, которая представлена на рис. 1.

Ядро кластера представляют компании, основной задачей которых является разработка и интеграция компонентов интеллектуальных транспортных систем, связанных между собой и объединяющих субъектов транспортно-логистической составляющей кластера. Данную функцию могут выполнять отдельные компании (ГК СКАУТ, ООО «А+С Транспроект», ООО «ИнтелТех», ООО «Интеллектуальные транспортные системы» и др.), дочерние компании крупных транспортно-логистических организаций. Также в первый уровень включены структуры, выполняющие исследовательские работы в сфере интеллектуальных транспортных технологий, не связанные с технической частью разработки и внедрения: маркетинговые компании, подразделения крупных научно-исследовательских структур (университетов,



лабораторий), подразделения подведомственных государственных предприятий (ГКУ «Организатор перевозок», Комитет по транспорту и др.).

Тесное взаимодействие субъектов первого уровня при сохранении необходимого уровня конкуренции — основной фактор эффективности кластера. Именно от обеспечения требуемого уровня доверия между участниками кластера зависит степень реализации его инновационного потенциала и эффективность использования ресурсов, что отражается на его конкурентоспособности.

Ко второму уровню кластера относятся транспортно-логистические предприятия — потребители интеллектуальных транспортных технологий (перевозчики, логистические операторы, портовые компании, экспедиторские организации и др.). Данный уровень является также базой для апробации разработок интеллектуального управления транспортом. Кроме того, на данном уровне необходимы обслуживающие транспорт организации, такие как станции технического обслуживания, автомайки и т.п.

Третий уровень включает организации, обеспечивающие ресурсную поддержку кластера. В первую очередь, это кадровое обеспечение, так как разработка интеллек-

туальных транспортных систем требует привлечения высококвалифицированных ИТ-архитекторов, системотехников, аналитиков, инженеров, специалистов в сфере транспорта, специалистов по внедрению инноваций, программистов, ИТ-администраторов. Необходима разработка образовательных программ на базе вузов совместно с компаниями первого уровня кластера.

Финансовую поддержку кластера на первом этапе развития предполагается обеспечить за счёт государственных инвестиций, на последующих — за счёт собственных ресурсов и инвестиций бизнес-инкубаторов, венчурных предприятий, отдельных инвесторов.

Кроме того, целесообразно включить в третий уровень структуры, выполняющие ряд административных функций, связанных с урегулированием нормативно-правовых вопросов при реализации интеллектуальных транспортных технологий, лоббированием проектов по модернизации и развитию транспортной инфраструктуры.

Следует отметить, что организация кластера данного типа предполагает государственное участие. Несмотря на то, что кластеризация по своей сути должна происходить по инициативе и потребности предприятий в объединении и взаимодействии, представить данный процесс без



поддержки государства достаточно сложно. Государство является разработчиком кластерной политики, направленной на формирование условий развития и обеспечение инфраструктурой кластеров и осуществление мероприятий по их поддержке.

Государственная кластерная политика может осуществляться на основе одного из двух подходов. Первый подход предполагает, что на государственном уровне осуществляется идентификация кластеров, выявление приоритетных направлений деятельности кластерообразующих предприятий, реализация поддерживающих кластеры мероприятий. Второй подход подразумевает глубокое понимание функционирования каждого кластера и формирования индивидуальной программы их поддержки и решения проблем.

В зависимости от степени вмешательства и контроля государства кластеры выделяют четыре типа кластерной политики: каталитическая, поддерживающая, директивная, интервенционистская. С каждым последующим типом расширяется ответственность, но вместе с тем и степень государственного контроля над деятельностью субъектов кластера [19]. При этом наиболее распространённой является поддерживающая политика, она проводится по отношению к 40 % региональных кластеров, каталитическая — 20 %, директивная — 5 %, интервенционистская — 2–3 % кластеров [20, с. 16].

Так как стратегическое управление и рационализация состава кластера должны иметь централизованный характер, то на первом этапе развития исследуемого кластера потребуется проведение директивной кластерной политики с точки зрения формирования общего целеполагания и организации взаимодействия участников первого и второго уровней кластера. На последующих этапах государство может выполнять только поддерживающие функции, постепенно сокращая объём инвестиций и степень вмешательства в функционирование кластера.

Высокая трудоёмкость организации ТЛК с приоритетом развития интеллектуальных транспортных технологий и вовлечение в данный процесс государственных и частных компаний определяют необходимость проведения масштабных исследо-

ваний с целью анализа проблем и возможностей существующих кластерообразующих региональных транспортно-логистических комплексов страны и выявления наиболее перспективного из них.

Таким образом, специфика организации ТЛК с приоритетом развития интеллектуальных транспортных технологий заключается в следующем:

- необходимость учёта характерных особенностей кластера, варьирующихся в зависимости от условия организации;
- наличие двойственных характеристик кластера ввиду принадлежности как к транспортно-логистической сфере, так и к инновационной сфере;
- особая структура построения, обеспечивающая доступ к необходимым ресурсам;
- важность развитости транспортной инфраструктуры и инфраструктуры интеллектуального и финансового капитала;
- высокая потребность в кадровом обеспечении;
- потребность в обеспечении взаимодействия участников в процессе производства и реализации интеллектуальных транспортных технологий при сохранении необходимого уровня конкуренции;
- необходимость государственного вмешательства и поддержки в сфере транспорта и общего целеполагания кластера для высокой ожидаемой эффективности;
- высокая трудоёмкость процесса организации;
- потребность в проведении масштабных исследований на этапе планирования организации кластера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выделенные в исследовании объективные предпосылки развития интеллектуальных транспортных технологий в рамках ТЛК обуславливают необходимость организации кластера, обладающего специфическими характеристиками и потенциалом для достижения поставленных целей, несмотря на высокую трудоёмкость и затратность данного мероприятия.

Наиболее эффективным и наименее затратным представляется организация формального кластера на основе выбранного по результатам исследований кластерообразующего регионального транспорт-

но-логистического комплекса Российской Федерации с поэтапным внедрением инновационной составляющей, направленной на разработку и реализацию интеллектуальных транспортных технологий. В результате деятельности кластера ожидается создание единой интеллектуальной системы управления транспортно-логистическим комплексом конкретного региона с последующим распространением внедрённых и апробированных инновационных транспортных технологий на другие регионы с целью формирования устойчивой связанности территории страны и повышения конкурентоспособности транспорта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Национальная технологическая инициатива. Программа мер по формированию принципиально новых рынков и создания условий для глобального технологического лидерства России к 2035. [Электронный ресурс]: <https://old.asi.ru/nti/>. Доступ 30.04.2020.
2. Suleiman, Gh. M. Decreasing of Traffic Delay With Intelligent Transportation System ITS. The Seventh International Conference on Advances in Civil and Structural Engineering, CSE, 2017. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/profile/Ghassan_Suleiman/publication/320695746_Decreasing_of_Traffic_Delay_With_Intelligent_Transportation_System_ITS/links/5c37213292851c22a3691f8b/Decreasing-of-Traffic-Delay-With-Intelligent-Transportation-System-ITS.pdf. Доступ 30.04.2020.
3. Popovic, Z., Miucic, R. Connected vehicles. Intelligent Transportation Systems. Springer International Publishing, Switzerland, 2019, 271 p. DOI: 10.1007/978-3-319-9.4785-3.
4. Fayaz, D. Intelligent Transport System-A Review, 2018. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/329864030_Intelligent_Transport_System-A_Review. Доступ 30.04.2020.
5. Ureche, C. Intelligent Transport Systems Architecture. Journal of Scientific Conference Proceedings, 2018, Vol. 7 (Future Traffic Management), p. 805. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/330118340_Intelligent_Transport_Systems_Architecture. Доступ 30.04.2020.
6. Попова И. М., Абрамов Н. В., Попова Е. А. Оценка экономического эффекта от внедрения интеллектуальных систем управления транспортными потоками // Научно-методический электронный журнал «Концепт». — 2015. — Т. 35. — С. 116–120. [Электронный ресурс]: <http://e-koncept.ru/2015/95577.html>. Доступ 30.04.2020.
7. Hu, Siyu; Liu, Jing; Li, Yaona. Intelligent Transportation Systems (ITS). 17th COTA International Conference of Transportation Professionals, 2018, pp. 645–652. DOI: 10.1061/9780784480915.066.
8. Balalaev, A. S., Korol, R. G., Serenko, A. F. Transportation logistics clusters: shaping and development. Scholarly Notes of KNASTU «Humanities, Social and Cultural Sciences», 2014, Vol. III-2 (19), pp. 90–95. [Электронный ресурс]: <https://www.uzknastu.ru/en/archnum/45-2014/99-ii-119-2014-l-r.html>. Доступ 30.04.2020.
9. Постан М. Я., Столяров Г. П. Исследование источников эффективности транспортно-логистических кластеров и путей их реализации // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2015. — № 3 (3). — С. 43–51. [Электронный ресурс]: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2015_3\(3\)_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2015_3(3)_9). Доступ 30.04.2020.
10. Scott, S. A., Hughes, M., Kraus, S. Developing relationships in innovation clusters. Entrepreneurship and Regional Development, 2019, Vol. 31 (1–2), pp. 22–45. DOI: 10.1080/08985626.2018.1537145.
11. Groznik, A., Kovačič, A., Zoric, B., Vivic, D. E-logistics: Informatization of Slovenian transport logistics cluster. 26th International Conference on Information Technology Interfaces, 2004. DOI: 10.1109/ITI.2004.242952.
12. Официальный сайт группы компаний ООО «А+С Транспроект». Интеллектуальные транспортные системы. [Электронный ресурс]: http://apluss.ru/activities/its_konsalting. Доступ 30.04.2020.
13. Штраус О. Когда авто и дорога поумнеют // Российская газета — Экономика Северо-Запада. — № 266 (7729). [Электронный ресурс]: <http://rg.ru/2018/11/27/reg-szfo/uchenye-nashli-sposob-izbavit-peterburg-ot-probok.html>. Доступ 30.04.2020.
14. Жанказиев С. В. Разработка проектов интеллектуальных транспортных систем: Учеб. пособие. — М.: МАДИ, 2016. — 104 с.
15. Lebedeva, A. S., Rogavichene, L. I. The Innovative Development of the Transport Services Market: A Cluster Approach. Studies on Russian Economic Development, 2018, Vol. 29, No. 4, pp. 399–405. [Электронный ресурс]: https://ideas.repec.org/a/spr/sorede/v29y2018i4d10.1134_s1075700718040123.html#download. Доступ 30.04.2020. DOI: 10.1134/S1075700718040123.
16. Прогноз долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2030. Министерство экономического развития РФ. Москва. Март, 2013. [Электронный ресурс]: <http://static.government.ru/media/files/41d457592e04b76338b7.pdf>. Доступ 30.04.2020.
17. Ахтариева Л. Г. Кластерный механизм повышения конкурентоспособности региона // Экономика и управление. — 2009. — № 34 (127). — С. 54–61. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/klasternyy-mehanizm-povysheniya-konkurentosposobnosti-regiona/pdf>. Доступ 30.04.2020.
18. Федотенков Д. Г., Падалко А. А. Транспортно-логистические кластеры как вызов времени в социально-экономическом развитии региона // Проблемы и перспективы экономики и управления: Материалы III междунар. науч. конф. — СПб. — 2014. — С. 270–273. [Электронный ресурс]: <https://moluch.ru/conf/ekon/archive/131/6894/>. Доступ 02.05.2020.
19. Пилипенко И. В. Проведение кластерной политики в России. Приложение 6 к Ежегодному экономическому докладу Общероссийской общественной организации «Деловая Россия» «Стратегия 2020»: от экономики «директив» к экономике «стимулов» // Деловая Россия. — Москва. — 2008. — С. 1–34. [Электронный ресурс]: http://www.biblioglobus.ru/docs/Annex_6.pdf. Доступ 02.05.2020.
20. Enright, M. J. Survey on the Characterization of Regional Clusters: Initial Results. Working Paper, Institute of Economic Policy and Business Strategy: Competitions Program, University of Hong Kong, 2000, 25 p. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/228599616_Survey_on_the_characterization_of_regional_clusters_initial_results. Доступ 02.05.2020.





Features of Organisation of Transport and Logistics Cluster Prioritising Intelligent Transport Technologies Development



Elena V. BUDRINA



Anna S. LEBEDEVA



Larisa I. ROGAVICHENE



Katerina B. KVITKO

Budrina, Elena V., National Research ITMO University, St. Petersburg, Russia.

Lebedeva, Anna S., National Research ITMO University, St. Petersburg, Russia.

Rogavichene, Larisa I., National Research ITMO University, St. Petersburg, Russia,

Kvitko, Katerina B., Vologda Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Vologda, Russia.*

ABSTRACT

The article examines the prospects for organizing a cluster as an effective tool for ensuring connectivity of territories of the Russian Federation through the systematic and integrated implementation of intelligent transport technologies, which corresponds to strategic directions of development of transport in the Russian Federation and determines the relevance of the topic. The objective of the study is to determine the features of organisation of the transport and logistics cluster prioritising development of intelligent transport technologies by analysing the prospects for their development, studying variability of characteristics and structure of the cluster under various conditions of its formation based on the methods of formal logic, grouping, analysis of statistical data, normative-legal information,

information synthesis. The study resulted in identification of prerequisites for the most rapid development and effective implementation of intelligent transport systems within the cluster. The expediency of using this approach has been substantiated, despite its labour intensity and cost. The study suggests definitions of an innovative transport and logistics cluster, as well as characteristics of the transport and logistics cluster prioritising intelligent transport technologies. The study revealed the specifics of organisation of this cluster, which is primarily determined by the presence of dual characteristics. The peculiarities of cluster formation are reflected in the proposed structure of the cluster under study. The role of the state in organizing an innovative transport and logistics cluster is also defined.

Keywords: transport, logistics, intelligent technologies, systems, innovations, cluster, transport and logistics complex, regional development.

*Information about the authors:

Budrina, Elena V. – D.Sc. (Economics), Tenured Professor of the Faculty of Technological Management and Innovations of National Research ITMO University St. Petersburg, Russia, boudrina@mail.ru.

Lebedeva, Anna S. – Ph.D. (Economics), Tenured Associate Professor at the Faculty of Technological Management and Innovations of National Research ITMO University, St. Petersburg, Russia, hebo@rambler.ru.

Rogavichene, Larisa I. – Ph.D. (Economics), Tenured Associate Professor at the Faculty of Technological Management and Innovations of National Research ITMO University, St. Petersburg, Russia, Rogavichene@list.ru.

Kvitko, Katerina B. – Ph.D. student of Vologda Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Vologda, Russia, kbkvitko@mail.ru.

Article received 16.07.2020, accepted 08.09.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 156.

Background. In the context of globalization, which is an integral part of development of a modern economic society, it becomes urgent to increase competitiveness of individual territories, regions, industries based on innovative approaches to preserve or form the priority right to influence economic phenomena in the process of unification and integration. Thus, the main directions of technological development of the Russian Federation are formulated in the program of the national technological initiative presented to the Federal Assembly in 2014 by the President of the Russian Federation. Autonot is named as one of key markets for development of the national technology initiative, namely, as the market «for development of services, systems and modern vehicles based on intelligent platforms, networks and infrastructure in the logistics of people and things» [1], since those technologies can stimulate qualitative changes in various industries: transport, construction, trade and many others, due to integration of information and communication technologies and key components of the transportation process. The construction of efficient intelligent transport systems will make it possible to achieve a degree of scientific and technological development and quality of transport services that meets modern requirements.

Within the framework of this study, a hypothesis is put forward that implementation of intelligent transport systems is most effective in formation of an «ecosystem» for development and implementation of innovations, which, in turn, links together all the main participants in the transportation and logistics process. These «ecosystems» are clusters, which, as a rule, are the result of natural attraction and accumulation of elements of the transportation system interacting with each other. At the same time, receiving the status of a cluster, natural formation acquires a formalized structure, a general development strategy, state support, which significantly speeds up development and implementation of innovative technologies, increases efficiency of their use due to consistency and complexity of solutions. Within the clusters, there is an opportunity to connect technology companies, their suppliers, as well as various organisations that provide research, personnel, and administrative support to these organisations. Clustering of regional transport and logistics complexes determines not only a more rapid technological development of intelligent technologies in the Russian Federation while reducing logistics costs, but also allows to quickly influence changes in the regulatory framework.

Through involvement of universities, it is possible to create training programs needed in the future to maintain and further develop the technology. Thus, there is a complex impact on various areas of activity, accelerating the process of adaptation and possible implementation of technology in the Russian market.

Thus, the high need to identify tools for effective implementation of intelligent transport management systems within the natural process of clustering regional transport and logistics complexes determines the relevance and practical significance of the research topic.

Research methodology

To achieve the *objective* of identifying the features of organisation of the transport and logistics cluster (TLC¹) prioritising development of intelligent transport technologies, it is necessary to determine prerequisites for development of this type of innovative technologies within the framework of cluster formation, to study the possible characteristics of the cluster under various conditions of its formation, to describe its structure.

The solution of the tasks set involves the use of *methods* of formal logic, grouping, analysis of statistical data, regulatory information, information synthesis.

The current state of research on this issue

At present, a lot of scientific works are devoted to issues related to intelligent transport systems, and that once again confirms the relevance of the chosen topic. Basically, these are the works of researchers of transport universities or transport departments of universities, as well as of employees of large transport and logistics companies. The geography of research covers all developed and developing countries. In the scientific literature, the following areas of research prevail within the framework of this topic:

- advantages, objectives and goals, problems of using intelligent transport systems as a tool to improve efficiency of the economy [2–4];
- consideration of prospects for introduction of intelligent transport systems in one of the modes of transport [2; 5];
- description and assessment of one of the technologies of intelligent transport systems [6; 7];
- comparative analysis of some intelligent transport technologies [6].

¹ The Russian abridged name for transport and logistics cluster should not be confused with the same abbreviation TLC used for terminal and logistics complex. — *Ed. note.*



There is also a lot of research in the field of theoretical foundations of clustering, however, the problem of formation of transport and logistics clusters is practically not studied and is represented by rare works, which are mainly devoted to general issues of development of transport clusters [8–10] or to the prospects and conditions for formation of a cluster in a particular region [11].

Despite the significant interest of the scientific community to development and implementation of intelligent transport management systems, as well as to the study of the trends regarding formation of clusters, research works that consider these issues in close interrelation have not been found. At the same time, it seems that within the framework of the innovative TLC, the rates of development of this group of innovative technologies will be much higher.

Prerequisites for development and implementation of intelligent transport technologies within the transport and logistics cluster

Transport is a key factor in ensuring connectivity of the territory of any country, any region. For the Russian Federation, which stretches over 4000 km from north to south and over than 9000 km from west to east, territorial interaction is of particular importance. Therefore, creation of conditions for effective operation of the country's transport and logistics complex is one of the priority strategic directions of the country's development both in any historical period, and in the present and in the future.

This is possible only if the innovations are introduced that can solve the existing problems of transport sector, ensure qualitative growth of the country's transport and logistics complex, and improve conditions for interaction of various modes of transport. These innovations include intelligent transport technologies, which are a group of innovative developments aimed at creating information flows to control traffic in real time by simulating transportation systems.

These technologies can facilitate the achievement of the following results:

- to provide end users with the information they need;
- to improve safety of road users;
- to qualitatively increase the level of interaction between traffic participants;
- to redistribute load and reduce traffic density, reducing the likelihood of congestion;
- to reduce fuel consumption, which will have a positive effect on environmental safety of the country;

- to reduce the level of negative influence on the psychoemotional state of road users [12].

Thus, intelligent transport technologies act as an element connecting the stakeholders, which makes it possible to bridge the current gap in terms of sustainability between transportation systems, which is caused by an increase in the volume of transport work and the number of vehicles, by higher requirements for quality and speed of transport services, high traffic routes congestion, a significant share of the transport component in the cost of the final product and other social, technological and environmental factors.

The versatility and relevance of this group of innovations have determined the emergence of many different technologies in this area, which are developed both by organisations subordinate to the state and by private companies specializing in intelligent transport technologies.

Intelligent transport technologies can represent both simple navigation systems, traffic control systems, warning signs, devices for recognizing and reading speed and vehicle data, as well as more complex video surveillance systems that allow collecting and processing significant amounts of data from various sources, such as meteorological services, systems for controlling bridges, parking (e.g., Parking guidance and information (PGI) systems) and others.

However, the variety of products offered on the market does not ensure the transition of the country's transport and logistics complex to a fundamentally new evolutionary level. Moreover, this approach inhibits its development and increases the gap with more innovatively developed countries by reducing the level of integration and interaction of participants in the transport services market.

This is due to the fact that implementation of existing developments occurs pointwise, haphazardly. There is no fundamental understanding of exactly which innovations need to be introduced, on what scale, in which regions, what effects will be obtained. The scope of the applied technologies is limited to individual cities, districts to solve individual municipal problems, without a tendency towards further globalization. As a rule, the intelligent technologies used have different developers, and, accordingly, are not connected into a single network, often do not have the technical ability to integrate with each other. In other words, there are no expected globalization processes and synergistic effects for the regions and the country as a whole.

At the same time, the experience of foreign countries indicates the presence of significant positive effects resulting from introduction of intelligent transport systems. For example, in Stockholm, these technologies made it possible to reduce the likelihood of congestion by 20 %, improve the environmental safety of megalopolis transport by reducing harmful emissions by 12 %, and actively stimulate the population to use public transport. In Seoul, a city with a high rate of motorization of the population, due to introduction of intelligent systems, the average speed of movement has increased by 20 %. At the same time, the emerging social effect also determines the economic effect in the form of a reduction in various items of expenditure in the budgets of cities and countries. The total savings after introduction of intelligent transport systems in South Korea, for example, amounted to about \$1,5 billion per year, and in one of the states in the United States, the cost of road maintenance in winter was reduced by 62 % [13]. Data shown is based on actual results. In domestic practices, only forecasts of the results from introduction of intelligent technologies for the transport system are presented, based mainly on expert estimates without considering specific innovative technologies and factors of their implementation in individual regions, where they will differ significantly.

At present, practical experience of foreign countries has been accumulated in design and implementation of intelligent systems, including within the framework of existing transport and logistics complexes. For example, in the United States, to justify a project for implementation of intelligent transport systems, a multi-level assessment procedure is performed by experts in various fields using specially developed methods (scenario method) and software products for making a managerial decision on implementation of a technical solution at the state level (MICA, PRUEVIIN, IDAS, SCRITS, CAL-B/C, etc.). The design of these systems in Europe seems to be based on a more rigorous scientific approach than in other regions. Process of development of projects in Japan is organised similarly to European countries: the internal specifics and a plan of subsequent impact, a plan for degradation of the system and its subsequent modernization are calculated. Due to capital intensity and complexity of procedures in domestic practices, the stages of assessing implementation of intelligent transport systems are simplified, which leads to the fact that the implemented control systems are described and

created, in essence, as a set of equipment (for example, «Start» system in Moscow) [14].

The tool for solving this problem is formation of clusters, in particular, innovation clusters, the main task of which is to activate innovation processes in a certain area and to increase innovation activity and efficiency of innovation activities not only of individual market entities, but also of the country as a whole. At the same time, this group of innovative technologies, first, refers to the transport complex, and, therefore, is implemented within the framework of the country's regional transport and logistics complexes, which are currently subject to the general clustering process [15]. It should be noted that, despite the adoption, within the framework of the long-term strategy of socio-economic development of the Russian Federation until 2030, of the decision to create a network of innovative and territorial-production clusters [16] and the trend of clustering in the field of transport, not a single TLC has been created with assignment of an official status. This determines not only the lack of a single development strategy and the lack of state support in the form of financing and legal regulation of interaction of participants tending to clustering the country's transport complexes, but also shows the low level of efficiency of their innovative component.

The identified prerequisites determine expediency of determining the specific conditions for formation of TLC with highly developed innovative technologies in the field of intelligent transport management in the country.

Study of the characteristics and structure of the transport and logistics cluster prioritising development of intelligent transport technologies

To identify the specifics of TLC organisation prioritising development of intelligent transport technologies, it is necessary to determine its type and main characteristics.

Since there is no officially assigned TLC or innovation cluster focused on development of intelligent transport technologies in the Russian Federation, a potential type of cluster is being considered. There are two options for formation of this cluster: self-organisation within the existing conditions without a formal status, or organisation of a formal cluster assigned with an official status. Subject to assignment of official status, it will become secondary one, and a number of its characteristics will change, for example, the degree of control by the state. Therefore, Table 1 shows the characteristics of this cluster both under existing conditions and



Table 1

Characteristics of the transport and logistics cluster (TLC) prioritising intelligent transport technologies development

Feature	Characteristics of a cluster under conditions of self-organisation	Characteristics of a cluster subject to assignment of an official status
Legal status, status	Primary (undetected)	Secondary (explicit)
Depending on the nature of the cluster-forming industry	Innovative Transport-logistics	Innovative Transport-logistics
Result of activity	Transport and logistics services Creation of intelligent transport technologies	Transport and logistics services Creation of intelligent transport technologies
Development orientation	Sectoral Regional	Sectoral Regional
Degree of government involvement	Passive (support for the innovation component)	Active (legal regulation, financial support, etc.)
Degree of connectedness of cluster members	Weak ties, latent	Strong, stable
Role expectations of participants	Multiple roles for each participant Fuzzy role functions	Role specification of participants Clear role functions
Management	Decentralized	Centralized
Goal setting	Targeted	Targeted
Geographic concentration	City Region	City Region
Nature of origin	Spontaneousness	Awareness
Key motives for forming	Product-oriented	Product-oriented
Expected efficiency	Low or average	High

Source: compiled by the authors.

subject to assignment of the official status of the cluster.

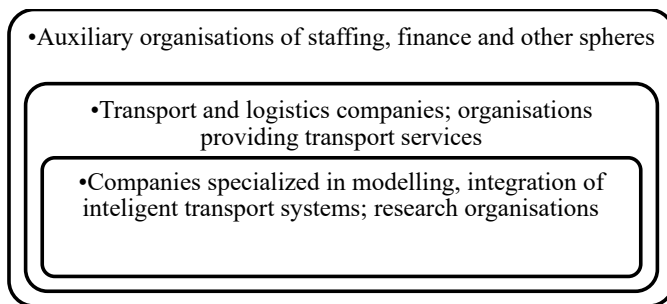
Attention should be paid to the presence of dual characteristics. So, on the one hand, TLC is focused on provision of services, on the other hand, development and implementation of innovations require availability of production facilities. This cluster develops both a close relationship with a specific industry and regional development. This is due to the fact that this type of cluster combines characteristics of two types of clusters: transport and logistics and innovative ones.

The transport and logistics cluster (TLC) is a complex system of infrastructure and companies specializing in storage, following, monitoring and delivery of goods and passengers, that is, performing various transportation and logistics operations [17]. The main goal of this cluster is to create effective management of technological chains of movement of cargo flows from suppliers of raw materials, production structures to consumers [18]. On the one hand, it involves development of the transport industry, on the other hand, it is aimed at increasing the logistics potential of the territory. In addition, transport is a connecting link for other sectors of the economy, which determines the intersectoral nature of the cluster. Also, a feature of TLC is the need not only for availability of major enterprises providing

transportation and logistics services, but also for a developed transport infrastructure. Therefore, as a rule, this type of clusters is formed within territories with significant transit potential, for example, in port cities, at large transport and logistics hubs, in the area of international transport corridors.

An innovation cluster is «an informal unification of efforts of various organisations (industrial companies, research centres, universities, public scientific institutions, etc.) capable of transferring new knowledge, scientific discoveries and inventions, transforming them into innovations demanded by the market» [17]. This type of cluster is a supersystem, since it can be associated with various industries and clusters of other types. The main goal of the innovation cluster is naturally innovation, both industrial and social, managerial and other. The development of infrastructure of intellectual and financial capital is important for an innovation cluster. It is the innovation cluster that can speed up the process of creating and commercializing innovations, which is necessary for harmonious development and implementation of intelligent transport technologies.

In the Russian Federation, there are many transport and logistics complexes with significant potential for development of the industry and organisation of a cluster. At the same time, it should



Pic. 1. Structure of the transport and logistics cluster (TLC) prioritising intelligent transport systems development. Source: compiled by the authors.

be noted their low innovative activity in general, despite the presence of some innovative achievements in the field of railway and air transport. A systemic, integrated approach to development and implementation of radical innovations not borrowed from world practices can be carried out by large domestic companies with state support and a significant amount of financial and material and technical resources. The current situation requires a different approach to formation of TLC with an emphasis on the innovative component. Therefore, it is advisable to define the type of cluster corresponding to the purpose of the study as innovative transport and logistics cluster.

An innovative transport and logistics cluster (ITLC) is a group of interconnected subjects of the transportation services market with its inherent features of cluster formation, the core of which is range of key organisations specializing in development and implementation of innovative transport technologies.

The presence of dual characteristics of a cluster determines the specifics of its structure. The required type of cluster to ensure development of intelligent transport technologies must have the resources of production (information technology), transport and logistics and innovation clusters.

Any cluster assumes a three-tier structure: the base of the cluster («key companies»); organisations providing services to «key» companies; auxiliary organisations providing participants with various resources. As a result of the analysis of the structures of the production, transport, logistics and innovation clusters [15], we have determined the structure of the required type of cluster, as shown in Pic. 1.

The core of the cluster is represented by companies whose main task is to develop and integrate components of intelligent transport systems, interconnecting and uniting subjects of the transport and logistics component of the cluster. This function can be performed by individual

companies (SCOUT Group of Companies, LLC A+C Transproject, LLC IntelTech, LLC Intelligent Transport Systems, etc.), subsidiaries of large transport and logistics organisations. Also, the first level includes structures that carry out research work in the field of intelligent transport technologies that are not related to the technical field of development and implementation: marketing companies, subdivisions of large research structures (universities, laboratories), subdivisions of subordinate state enterprises (GKU Organizer of Transportation, Committee on Transport, etc.).

Close interaction of the subjects of the first level while maintaining the required level of competition is the main factor of the cluster's efficiency. It is precisely on ensuring the required level of confidence and trust between cluster members that the degree of realization of its innovative potential and the efficiency of resource use depend, thus affecting its competitiveness.

The second level of the cluster includes transport and logistics enterprises: consumers of intelligent transport technologies (carriers, logistics operators, port companies, forwarding organisations, etc.). This level is also the basis for approbation of intelligent transport control developments. In addition, at this level, organisations providing services to transport sector are needed, such as service stations, car washes, etc.

The third level includes organisations that provide resource support for the cluster. First, this is staffing, since development of intelligent transport systems requires involvement of highly qualified IT architects, systems technicians, analysts, engineers, transportation specialists, innovation specialists, programmers, IT administrators. It is necessary to develop educational programs on the basis of universities in conjunction with companies of the first level of the cluster.

The financial support of the cluster at the first stage of development is expected to be provided at



the expense of state investments, at the subsequent stage — at the expense of own resources and investments of business incubators, venture capital enterprises, and individual investors.

In addition, it is advisable to include in the third level structures that perform a number of administrative functions related to regulatory issues in implementation of intelligent transport technologies, lobby projects for modernization and development of transport infrastructure.

It should be noted once again that organisation of a cluster of this type involves government participation. Even though clustering in its essence should take place on the initiative and meet the needs of enterprises for unification and interaction, it is rather difficult to imagine this process without state support. The state is the developer of cluster policy aimed at creating conditions for development and provision of infrastructure for clusters and implementation of measures to support them.

State cluster policy can be implemented based on one of two approaches. The first approach assumes that identification of clusters, identification of priority areas of activity of cluster-forming enterprises, implementation of activities supporting the clusters are carried out at the state level. The second approach implies a deep understanding of functioning of each cluster and formation of an individual program for their support and problem solving.

Depending on the degree of intervention and control by the state of the clusters, four types of cluster policy are distinguished: catalytic, supportive, directive, interventionist. With each subsequent type, the responsibility expands, but at the same time the degree of state control over the activities of the subjects of the cluster also extends [19]. At the same time, the most widespread is supportive policy, it is carried out in relation to 40 % of regional clusters, catalytic policy refers to 20 %, directive policy is relevant for 5 %, interventionist policy addresses 2–3 % of clusters [20, p. 16].

Since strategic management and rationalization of the composition of the cluster should be centralized, at the first stage of development of the cluster under study, it will be necessary to conduct a directive cluster policy in terms of formation of a common goal setting and organisation of interaction between the participants in the first and second levels of the cluster. At subsequent stages, the state can only perform supporting functions, gradually reducing the volume of investments and the degree of interference in cluster functioning.

The high labour intensity of TLC organisation prioritising development of intelligent transport technologies and involvement of public and private companies in this process determine the need for large-scale research in order to analyse the problems and capabilities of the existing cluster-forming regional transport and logistics complexes of the country and identify the most promising of them.

Thus, the specifics of organisation of TLC focusing on the priority of intelligent transport technologies development is as follows:

- need to consider the characteristics of the cluster, which vary depending on the conditions of its organisation;
- presence of dual characteristics of the cluster due to its belonging both to the transport and logistics sphere and to the innovation field;
- special structure design that provides access to the necessary resources;
- importance of development of transport infrastructure and infrastructure of intellectual and financial capital;
- high demand for staffing;
- need to ensure interaction of participants in the production process and implementation of intelligent transport technologies while maintaining the required level of competition;
- need for government intervention and support in the field of transport and overall goal-setting of the cluster to attain high expected efficiency;
- high labour intensity of the organisation process;
- need for large-scale research at the planning stage of the cluster organisation.

Conclusion. The objective prerequisites for development of intelligent transport technologies highlighted in the study within the framework of TLC necessitate organisation of a cluster with specific characteristics and potential to achieve set goals, despite high labour intensity and cost of this process.

The most effective and least costly is organisation of a formal cluster based on a cluster-forming regional transport and logistics complex of the Russian Federation selected based on the research results with the phased introduction of an innovative component aimed at development and implementation of intelligent transport technologies. As a result of the cluster's activities, it is expected to create a single intelligent system for managing the transport and logistics system of a particular region with subsequent dissemination of the implemented and tested innovative transport technologies to other

regions to form a stable connectivity of the country's territory and to achieve increased transport competitiveness.

REFERENCES

1. National Technology Initiative. A program of measures to form fundamentally new markets and create conditions for the global technological leadership of Russia by 2035. [Natsionalnaya tekhnologicheskaya initsiativa. Programma mer po formirovaniyu printsipialno novykh rynkov i sozdaniya uslovii dlya globalnogo tekhnologicheskogo liderstva Rossii k 2035]. [Electronic resource]: <https://old.asi.ru/nti/>. Last accessed 30.04.2020.
2. Suleiman, Gh. M. Decreasing of Traffic Delay with Intelligent Transportation System ITS. The Seventh International Conference on Advances in Civil and Structural Engineering, CSE, 2017. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/profile/Ghassan_Suleiman/publication/320695746_Decreasing_of_Traffic_Delay_With_Intelligent_Transportation_System_ITS/links/5c37213292851c22a3691f8b/Decreasing-of-Traffic-Delay-With-Intelligent-Transportation-System-ITS.pdf. Last accessed 30.04.2020.
3. Popovic, Z., Miucic, R. Connected vehicles. Intelligent Transportation Systems. Springer International Publishing, Switzerland, 2019, 271 p. DOI: 10.1007/978-3-319-9.4785-3.
4. Fayaz, D. Intelligent Transport System-A Review, 2018. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/329864030_Intelligent_Transport_System-A_Review. Last accessed 30.04.2020.
5. Ureche, C. Intelligent Transport Systems Architecture. *Journal of Scientific Conference Proceedings*, 2018, Vol. 7 (Future Traffic Management), p. 805. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/330118340_Intelligent_Transport_Systems_Architecture. Last accessed 30.04.2020.
6. Popova, I. M., Abramov, N. V., Popova, E. A. Assessment of the economic effect of introduction of intelligent systems for traffic management [Otsenka ekonomicheskogo efekta ot vnedreniya intellektualnykh sistem upravleniya transportnymi potokami]. Scientific and methodological electronic journal «Concepts», 2015, Vol. 35, pp. 116–120. [Electronic resource]: <http://e-koncept.ru/2015/95577.html>. Last accessed 30.04.2020.
7. Jiadong, Liang; Jianqun, Wang; Jingxuan, Chen. A Short-Term Forecast Method for Highway Traffic Conditions Based on CHMM. 17th COTA International Conference of Transportation Professionals, 2018, pp. 633–644. DOI: <https://doi.org/10.1061/9780784480915.065>.
8. Balalaev, A. S., Korol, R. G., Serenko, A. F. Transportation logistics clusters: shaping and development. Scholarly Notes of KNASTU «Humanities, Social and Cultural Sciences», 2014, Vol. III-2 (19), pp. 90–95. [Electronic resource]: <https://www.uzknastu.ru/en/archnum/45-2014/99-ii-119-2014-l-r.html>. Last accessed 30.04.2020.
9. Postan, M. Ya., Stolyarov, G. P. Research on sources of efficiency of transport and logistics clusters and ways of their implementation [Issledovanie istochnikov effektivnosti transportno-logisticheskikh klasterov i putei ikh realizatsii]. *Eastern European Journal of Advanced Technologies*, 2015, Iss. 3 (3), pp. 43–51. [Electronic resource]: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2015_3\(3\)_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2015_3(3)_9). Last accessed 30.04.2020.
10. Scott, S. A., Hughes, M., Kraus, S. Developing relationships in innovation clusters. *Entrepreneurship and Regional Development*, 2019, Vol. 31 (1–2), pp. 22–45. DOI: 10.1080/08985626.2018.1537145.
11. Groznik, A., Kovačič, A., Zoric, B., Vicić, D. E-logistics: Informatization of Slovenian transport logistics cluster. 26th International Conference on Information Technology Interfaces, 2004. DOI: 10.1109/ITI.2004.242952.
12. Intelligent transport systems. Official website of the group of companies LLC A+S Transproject. [Electronic resource]: http://apluss.ru/activities/its_konsalting. Last accessed 30.04.2020.
13. Strauss, O. When the car and the road get wiser [Kogda avto i doroga poumneyut]. *Economy of the North-West*, No. 266 (7729). [Electronic resource]: <https://rg.ru/2018/11/27/reg-szfo/uchenye-nashli-sposob-izbavit-peterburg-ot-probok.html>. Last accessed 30.04.2020.
14. Zhankaziev, S. V. Development of projects of intelligent transport systems: Study guide [Razrabotka proektov intellektualnykh transportnykh sistem: Ucheb. posobie]. Moscow, MADI publ., 2016, 104 p.
15. Lebedeva, A. S., Rogavichene, L. I. The Innovative Development of the Transport Services Market: A Cluster Approach. *Studies on Russian Economic Development*, 2018, Vol. 29, No. 4, pp. 399–405. [Electronic resource]: https://ideas.repec.org/a/spr/sorede/v29y2018i4d10.1134_s1075700718040123.html#download. Last accessed 30.04.2020. DOI: 10.1134/S1075700718040123.
16. Forecast of long-term socio-economic development of the Russian Federation for the period up to 2030 [Prognoz dolgosrochnogo sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya RF na period do 2030]. Ministry of Economic Development of the Russian Federation, Moscow, March 2013. [Electronic resource]: <http://static.government.ru/media/files/41d457592e04b76338b7.pdf>. Last accessed 30.04.2020.
17. Akhtariev, L. G. Cluster mechanism for increasing the competitiveness of the region [Klasterniy mekhanizm povysheniya konkurentosposobnosti regiona]. *Ekonomika i upravlenie*, 2009, Iss. 34 (127), pp. 54–61. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/klasternyy-mekhanizm-povysheniya-konkurentosposobnosti-regiona/pdf>. Last accessed 30.04.2020.
18. Fedotenkov, D. G., Padalko, A. A. Transport and logistics clusters as a challenge of time in the socio-economic development of the region [Transportno-logisticheskie klastery kak vyzov vremeni v sotsialno-ekonomicheskom razviti regiona]. *Problems and prospects of economics and management: Proceedings of III international scientific conference*. St. Petersburg, 2014, pp. 270–273. [Electronic resource]: <https://moluch.ru/conf/econ/archive/131/6894/>. Last accessed 02.05.2020.
19. Pilipenko, I. V. Implementation of cluster policy in Russia. Appendix 6 to the Annual Economic Report of the All-Russian Public Organisation «Business Russia» «Strategy 2020»: from the economy of «directives» to the economy of «incentives» [Provedenie klasternoi politiki v Rossii. Prilozhenie 6 k ezhegodnomu ekonomicheskomu dokladu Obshcherossiiskoi obshchestvennoy organizatsii «Delovaya Rossiya» «Strategiya 2020»: ot ekonomiki «direktiv» v ekonomike «stimulov»]. *Delovaya Rossiya*, Moscow, 2008, pp. 1–34. [Electronic resource]: http://www.biblio-globus.ru/docs/Annex_6.pdf. Last accessed 02.05.2020.
20. Enright, M. J. Survey on the Characterization of Regional Clusters: Initial Results. Working Paper, Institute of Economic Policy and Business Strategy: Competitions Program, University of Hong Kong, 2000, 25 p. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/228599616_Survey_on_the_characterization_of_regional_clusters_initial_results. Last accessed 02.05.2020.





Развитие подхода к совершенствованию маршрутной схемы пассажирского транспорта крупного города



Андрей БУРЛУЦКИЙ



Павел ЕЛУГАЧЕВ

Несмотря на высокую значимость массового пассажирского транспорта для обеспечения перемещений городского населения, настоящий период характеризуется выраженным смещением приоритетов при реализации мероприятий по развитию транспортной системы крупного города в сторону индивидуального транспорта. Наряду с невозможностью поддержания высоких темпов строительства и реконструкции магистральной улично-дорожной сети, такая градостроительная позиция приводит к значительным перегрузкам практически всей транспортной инфраструктуры крупного города. По мнению большинства специалистов, одним из ключевых мероприятий, направленных на стабилизацию транспортной ситуации в городах, является реализация политики активного развития системы массового пассажирского транспорта. Среди вопросов организации работы пассажирского транспорта наибольший интерес представляет процедура трассирования маршрутов и последующего формирования из них рациональной маршрутной схемы, так как во многом от этого будут зависеть затраты времени пассажиров на передвижение по городу. Усовершенствование схемы движения пассажирского транспорта, рассматриваемое в увязке с развитием магистральной сети города, позволит достичь требуемого уровня удобства за счёт увеличения скорости транспортного потока.

В результате обзора российских и зарубежных работ, посвящённых исследованию транспортных сис-

*Бурлуцкий Андрей Александрович – Томский государственный архитектурно-строительный университет (ТГАСУ), Томск, Россия.
Елугачев Павел Александрович – Томский государственный архитектурно-строительный университет (ТГАСУ), Томск, Россия*.*

тем городов, установлено, что известные методики формирования маршрутных схем пассажирского транспорта не в полной мере учитывают взаимодействие транспортных потоков с городскими магистралями. Зачастую специалисты недостаточное внимание уделяют критериям оптимизации, позволяющим проводить всесторонний анализ рациональности вариантов маршрутных схем. Анализ требований к трассированию автобусных маршрутов, выбору приоритетных направлений их развития и удобству движения позволил обобщить принципы проектирования маршрутных схем и назначить критерии их оптимизации.

Установлено, что скорость является наиболее значимым критерием оптимизации транспортных систем, учитывающим особенности организации движения транспортных потоков на улично-дорожной сети крупного города и её транспортно-эксплуатационное состояние. Основываясь на опыте маршрутизации, накопленном почти за столетний период, развит подход к обоснованному назначению мероприятий по реорганизации маршрутной схемы, который позволяет учесть факторы, определяющие техническое состояние дорожной сети и характеристики транспортных потоков. Её общая идея заключается в соединении отдельных звеньев транспортной сети и последовательном формировании набора конкурирующих вариантов маршрута, один из которых в дальнейшем войдёт в состав рациональной маршрутной схемы.

Ключевые слова: городской пассажирский транспорт, маршрут движения, маршрутная схема, улично-дорожная сеть, критерии оптимальности, затраты времени на поездку.

*Информация об авторах:

Бурлуцкий Андрей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог Томского государственного архитектурно-строительного университета (ТГАСУ), Томск, Россия, abura124@yandex.ru.

Елугачев Павел Александрович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой инженерной геологии, мостов и сооружений на дорогах, проректор по научной работе Томского государственного архитектурно-строительного университета (ТГАСУ), Томск, Россия, nauka@tsuab.ru.

Статья поступила в редакцию 18.03.2020, принята к публикации 27.06.2020.

For the English text of the article please see p. 182.

Жизнедеятельность современного крупного города обеспечивается его инфраструктурой, в которой центральные позиции занимают улично-дорожная сеть и функционирующий на ней пассажирский транспорт. Следует выделить высокую социальную значимость городского пассажирского транспорта, которая проявляется в обеспечении свободы перемещения жителей города и в сокращении времени на поездки.

На сегодняшний день степень развития городской транспортной инфраструктуры не позволяет в полной мере обеспечить транспортные потребности населения. Прежде всего, это вызвано снижением темпов строительства, реконструкции и капитального ремонта транспортных коммуникаций. Наиболее остро транспортные проблемы выражены в крупных городах, планировочная схема которых складывалась длительное время под влиянием исторических факторов. В таких условиях недостаточное развитие дорожно-транспортной инфраструктуры приводит к тому, что затраты времени пассажиров на поездки значительно превышают предельно допустимые значения [1; 2]. При этом нарушается основное правило, сформулированное ранее французским архитектором Ле Корбюзье, согласно которому темпы модернизации транспортной инфраструктуры не должны отставать от темпов развития города в целом [3]. В свою очередь, строительство новых магистральных улиц и дорог потребует высвобождения городских территорий, а значит, обязательно будет сопровождаться сносом сложившейся застройки. Более гуманным решением обозначенной проблемы является рациональное использование подземного и надземного пространства, однако, это также потребует колоссальных капиталовложений. В настоящее же время можно наблюдать обратные, крайне негативные явления, такие как проявление активности в освоении свободной городской территории и, прежде всего, перспективных периферийных зон под массовое жилищное строительство и крупные торгово-развлекательные комплексы, что приводит не только к значительным перегрузкам отдельных транспортных ма-

гистралей, но и всей инженерной инфраструктуры крупного города.

Увеличение экономической активности населения, сопровождающееся ростом транспортной подвижности граждан, приводит к тому, что ежедневное использование автомобиля становится более привлекательным. В то же время легковой автомобиль характеризуется низкой провозной способностью и значительной занимаемой площадью проезжей части. Это свидетельствует о неэффективности применения такого вида пассажирского транспорта для осуществления трудовых передвижений, имеющих устойчивый и массовый характер в определённые периоды времени. При этом очевидно, что все перемещения горожан не могут быть реализованы исключительно общественным транспортом. Следует отметить, что легковые автомобили играют не менее высокую роль в организации процесса перевозок, т.к. могут обеспечить значительный объём культурно-бытовых и смешанных передвижений городского населения [4].

Значительный рост автомобилизации, характерный для городов западной Европы и США в послевоенный период, стал причиной появления серьёзных кризисных явлений, сопровождающихся транспортными заторами, снижением скоростей движения автомобилей и, наконец, ростом дорожно-транспортных происшествий. Уже тогда специалистам стало очевидно, что магистрали городов, заложенные до массового появления автомобилей, не соответствуют параметрам транспортного движения. В дальнейшем многие специалисты признали ошибочность выбранного ранее курса и необходимость реализации политики, предполагающей развитие системы массового пассажирского транспорта [5–10]. В то же время зарубежные исследователи отмечают [5; 7; 9; 10], что одно лишь повышение привлекательности массового транспорта само по себе не позволяет достичь желаемого уровня снижения интенсивности городских транспортных потоков. К тому же отвлечению внимания горожан от массового пассажирского транспорта и развитию привычки пользования именно личным транспортом в значительной степени способствует давление автомобильной промышленности.



По оценкам специалистов [11; 12] Россия отстаёт от развитых стран по уровню развития транспортной инфраструктуры более чем на 20 лет, повторяя ошибки других стран и в результате испытывая те же проблемы. Так, разрабатываемые в настоящее время в нашей стране проектные решения в большей степени отражают интересы владельцев индивидуальных легковых автомобилей, которые обеспечивают не более 40 % объёма пассажирских перевозок. Учёт же при модернизации транспортного каркаса города маршрутизированных видов общественного транспорта, представленных незначительной долей в структуре потока, но при этом выполняющих основной объём пассажирских перевозок, производится явно недостаточно [1; 4; 12].

Выраженная диспропорция в формировании приоритетов развития массового и индивидуального пассажирского транспорта способствует усилению противопоставления конкурирующих видов пассажирского транспорта и в итоге выводит обозначенную проблему на самый высокий градостроительный уровень [13].

Многие исследователи [2; 3; 8; 12; 14–17] отмечают, что выбор рациональной схемы маршрутов занимает одно из важнейших мест среди вопросов организации работы массового пассажирского транспорта. Затраты времени пассажиров на передвижение по городу во многом зависят от того, насколько качественно разработана маршрутная схема. В связи с этим маршрутную схему необходимо рассматривать в комплексе с улично-дорожной сетью города.

Вопросами совершенствования автобусных маршрутных схем, начиная с 30-х годов прошлого столетия, занимаются учёные всего мира. В области проектирования систем городского пассажирского транспорта в России основополагающими являются труды А. П. Александрова, Л. А. Бронштейна, А. Х. Зильбертала, В. С. Ларионова, А. А. Полякова, Д. С. Самойлова. Развитию научно обоснованных методов конструирования автобусных маршрутных схем посвящены работы Б. Л. Геронимуса, Д. Джумаева, М. Е. Антошвили, В. М. Бунеева [1], Г. А. Варелопуло, И. В. Спирина [3], Э. А. Сафронова,

М. В. Хрущёва [15], Ф. Г. Глика [14], С. Ю. Ольховского [16] и В. В. Яворского. Среди работ зарубежных авторов особый интерес вызывают научные исследования, посвящённые вопросам моделирования сети общественного транспорта [18].

В результате изучения опыта маршрутизации установлено, что существующие методы построения оптимальных маршрутных схем требуют уточнения своих положений, т.к. не учитывают технические параметры городских улиц и дорог. Таким образом, дальнейшее развитие подхода к реформированию маршрутной схемы в увязке с функционированием магистральной сети является актуальным вопросом.

Анализ требований, предъявляемых к работе городского пассажирского транспорта, довольно подробно представленных в научных источниках, позволил выделить главные принципы оптимизации маршрутных схем движения (рис. 1) [4].

Применение принципа многовариантности обусловлено сложностью и неоднозначностью задачи маршрутизации городского пассажирского транспорта и продиктовано необходимостью выбора наиболее рационального решения. В связи с тем, что количество вариантов может быть велико, актуально применение методов, позволяющих снизить количество возможных вариантов. Этого можно достичь в результате исключения нереальных и неконкурентоспособных вариантов, а также отбора для детального рассмотрения лишь определённой их категории [15].

Представление поставленной цели в виде набора критериев эффективности является важнейшим этапом исследования системы городского пассажирского транспорта. При этом наиболее эффективным является метод, позволяющий производить поиск решения по одному наиболее важному критерию с переводом остальных в разряд ограничений. В общем виде его можно записать следующим образом [4]:

$$\begin{cases} X \rightarrow extrem \\ Y_1^{min} < Y_1 < Y_1^{max} \\ \dots \\ Y_n^{min} < Y_n < Y_n^{max} \end{cases}, \quad (1)$$

где X — наиболее важный критерий, определённый на основе экспертных оценок;

Таблица 1

Критерии оптимизации маршрутных схем пассажирского транспорта

Область оптимизации	Наименование критериев оптимизации	Рациональные пределы варьирования критериев
Маршрутные схемы	Средние затраты времени на передвижения городского жителя $t_{\text{ср общ}}$	$t_{\text{ср общ}} < 40 \text{ мин}$
	Коэффициент пересадочности $K_{\text{п}}$	$1,15 < K_{\text{п}} < 1,30$
	Маршрутный коэффициент $K_{\text{м}}$	$2,0 < K_{\text{м}} < 3,0$
	Плотность МС $\delta_{\text{м}}$	$1,5 < \delta_{\text{м}} < 2,5$
	Коэффициент непрямолинейности сообщений на маршрутной сети $K_{\text{н общ}}$	$K_{\text{н общ}} < 1,25$
Автобусные маршруты	Средние затраты времени пассажиров на поездки $t_{\text{ср МТ}}$	—
	Длина маршрута $l_{\text{м}}$	обычные 15–30 км кольцевые до 40 км
	Коэффициент использования предоставляемых мест $K_{\text{исп}}$	$K_{\text{исп}} > 0,5$
	Показатель состояния дорожного покрытия $B_{\text{ср}}$	$B_{\text{ср}} < 3,0$
	Коэффициент непрямолинейности сообщений на маршруте $K_{\text{н}}$	$K_{\text{н}} < 1,25$

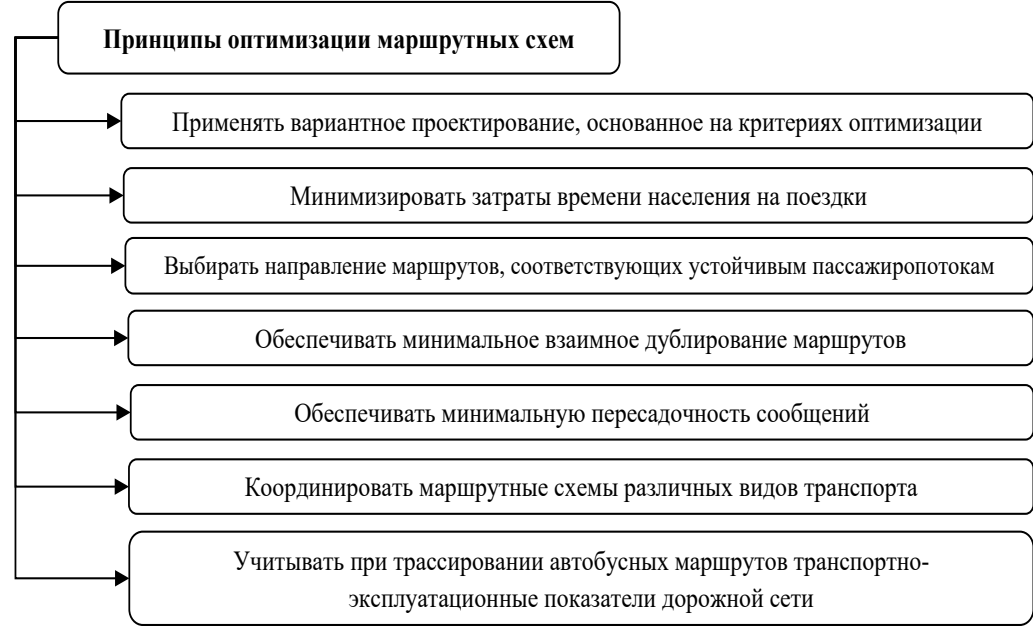


Рис. 1. Принципы оптимизации маршрутных схем (схема авторов).

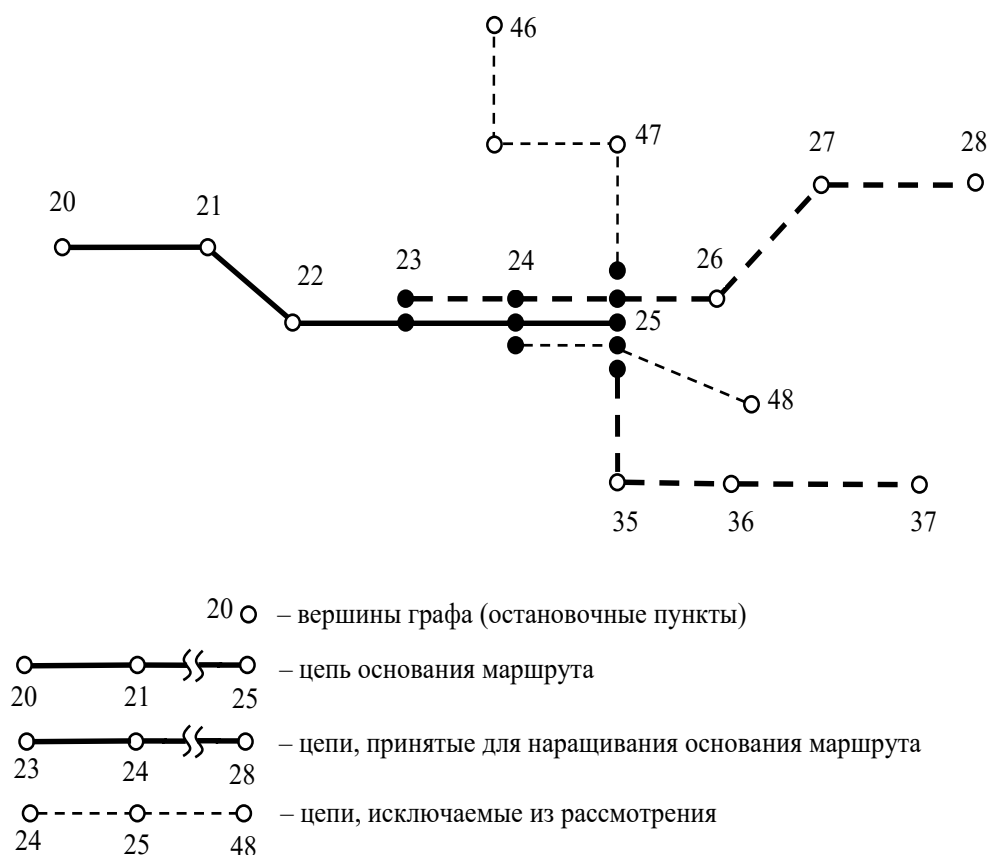


Рис. 2. Формирование вариантов совмещённых цепей (схема авторов).

Y – множество второстепенных критериев, достаточных для полноценного описания роли исследуемого объекта.

Принятые в работе критерии оптимизации отдельных маршрутов и маршрутных схем представлены в табл. 1 [4]. По мнению большинства исследователей, в качестве главного критерия могут выступать временные затраты населения на передвижения. Причём нормы затрат времени на трудовые передвижения установлены действующим нормативным документом [19].

Принимая во внимание многокритериальный характер задачи маршрутизации, подход к выбору наиболее рационального решения следует представить в виде [4]: для маршрутной схемы:

$$\begin{cases} t_{\text{ср}} \rightarrow \min \\ I_{\min} < I_{\text{м}} < I_{\max} \\ K_{\text{н}} < K_{\text{н}}^{\max} \\ K_{\text{исп}} > K_{\text{исп}}^{\min} \\ B_{\text{ср}} < B_{\max} \end{cases},$$

для отдельного маршрута:

$$\begin{cases} t_{\text{ср}} \rightarrow \min \\ K_{\text{м}}^{\min} < K_{\text{м}} < K_{\text{м}}^{\max} \\ \delta_{\text{м}}^{\min} < \delta_{\text{м}} < \delta_{\text{м}}^{\max} \\ K_{\text{п}}^{\min} < K_{\text{п}} < K_{\text{п}}^{\max} \\ K_{\text{н}}^{\min} < K_{\text{н}} < K_{\text{н}}^{\max} \end{cases}. \quad (2)$$

Среди известных подходов к совершенствованию действующей маршрутной схемы следует выделить метод последовательного приближения к оптимальному варианту, рассмотренный в трудах Ф. Г. Глика [14]. Развитие отмеченного подхода прослеживается в работах С. Ю. Ольховского и В. В. Яворского [16]. Учёные предложили более подробные зависимости и алгоритмы, позволяющие учесть при корректировке маршрутной сети ряд дополнительных критериев. Именно идеи этого подхода легли в основу методики [4], предложенной авторами данной статьи.

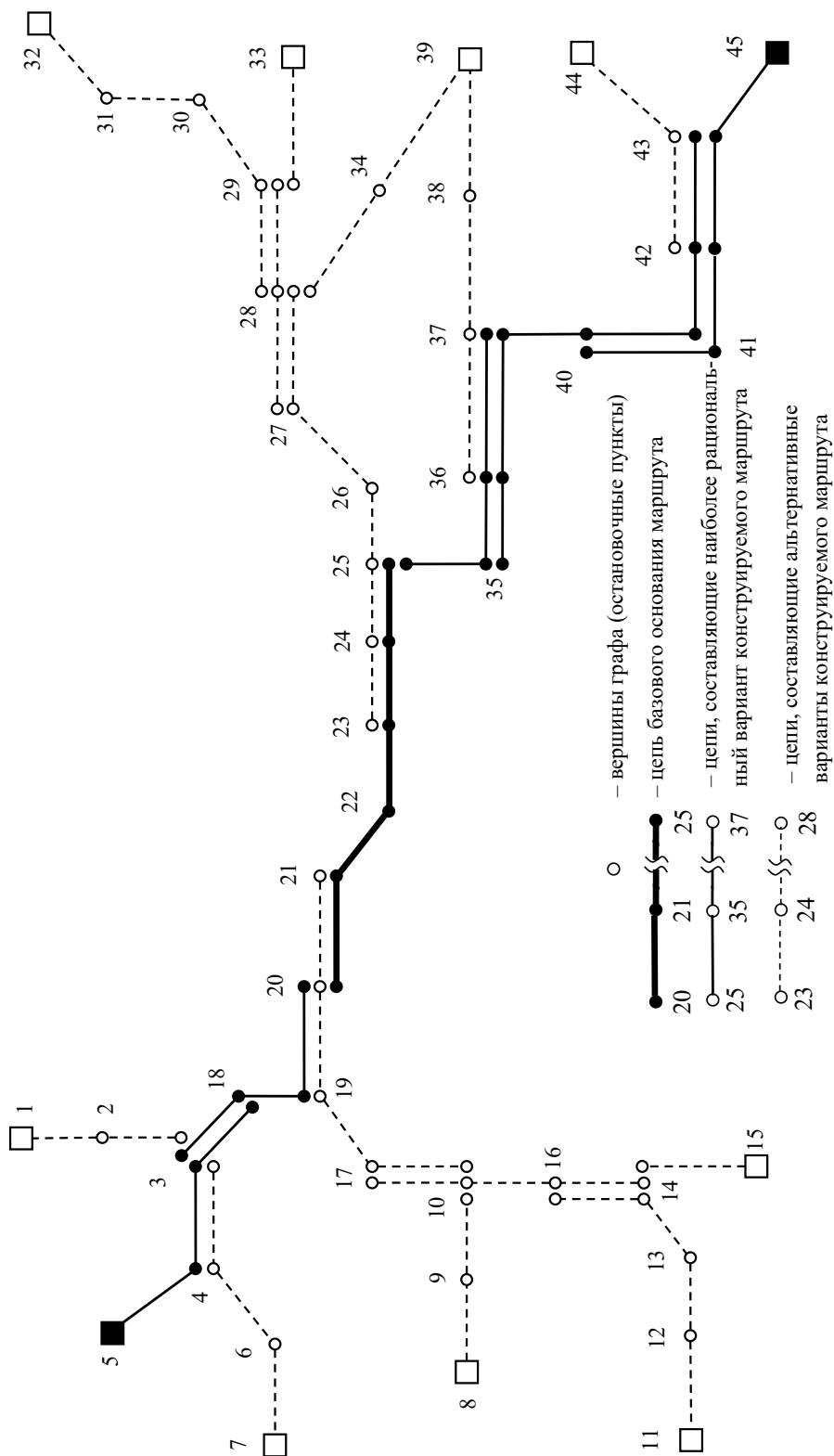


Рис. 3. Формирование подмножество вариантов проектируемого маршрута (схема авторов).



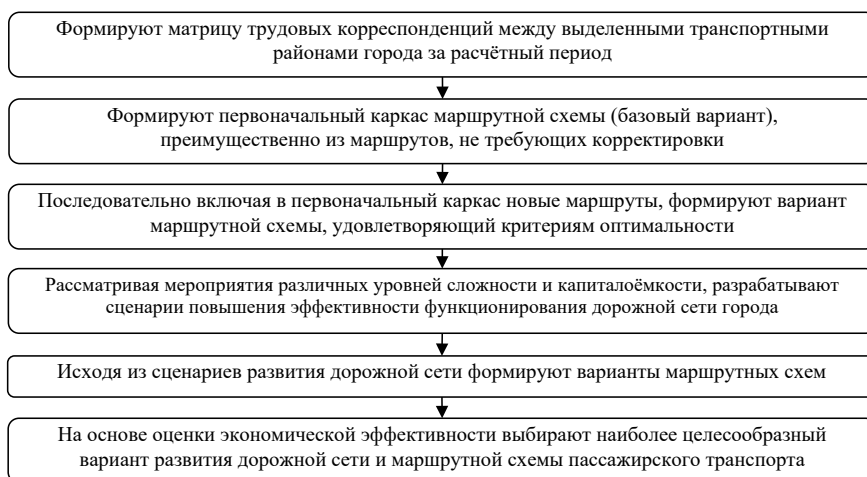


Рис. 4. Последовательность проектирования маршрутной схемы пассажирского транспорта, с учётом улучшения транспортно-эксплуатационных характеристик дорожной сети города (схема авторов).

Рассматриваемая методика основана на анализе матрицы корреспонденций, не обслуженных маршрутами, входящими в первоначальный базовый каркас. Последующее формирование нового маршрута-кандидата заключается в выборе его основания, соответствующего наиболее прямолинейной цепи из таблицы нереализованных связей с наибольшим значением пассажиропотока. Дальнейшие действия заключаются в наращивании рассматриваемого основания путём добавления к нему наиболее подходящих звеньев. При этом рассматриваются все связи, частично совпадающие с основанием формируемого маршрута, в дальнейшем из которых конструируется несколько вариантов совмещённых цепей. В зависимости от расположения основания маршрута относительно центральной части города, наращивание связей к первоначальной цепи выполняют в одну, либо в разные стороны, последовательно приближаясь к предполагаемым конечным пунктам. Для каждой совмещённой цепи, которая теперь рассматривается как новое основание маршрута, процесс наращивания связей повторяют (рис. 2). На основе полученного «дерева» цепей формируется набор вариантов проектируемого маршрута (рис. 3). В результате направленного поиска выбирается наиболее рациональный вариант, учитывающий критерии оптимизации (табл. 1), который в последующем войдёт в состав рациональной маршрутной схемы.

Наиболее рациональный вариант рассматриваемого маршрута устанавливают в соответствии с принятым критерием оптимальности из числа следующих: средние затраты времени пассажиров на поездки $t_{\text{ср}}$, длина маршрута l_m , коэффициент непрямолинейности сообщений K_n , коэффициент использования предоставляемых мест $K_{\text{исп}}$. Процедуру включения в первоначальный каркас новых маршрутов повторяют до тех пор, пока не будут реализованы все возможные корреспонденции. При этом стремятся, чтобы количество пересадок между несвязными районами не превышало одной. Процесс конструирования маршрутной схемы считают завершённым, если она полностью соответствует всем необходимым условиям.

Применение комбинаторного анализа с направленным отбором вариантов позволяет получить единственный вариант маршрутной схемы, по своим показателям близкий к оптимальному. Формирование разнообразных вариантов маршрутных схем может быть основано на альтернативных сценариях развития транспортной сети города. Выбор наиболее предпочтительного варианта маршрутной схемы осуществляют на основе установленных выше критериев оптимальности. При этом наиболее весомым является критерий затраченного населением времени на перемещение.

Основные этапы конструирования рациональной маршрутной схемы, с учётом развития магистральной сети города, представлены на рис. 4.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Принимая во внимание накопленный за длительный период опыт маршрутизации, развит подход к совершенствованию автобусной маршрутной схемы для условий крупного города в увязке с транспортно-эксплуатационным состоянием улично-дорожной сети. *В отличие от разработанных ранее методик, в предлагаемом подходе учтены критерии оптимизации, позволяющие комплексно оценить эффективность маршрутных схем.* Его суть заключается в «склеивании» отдельных звеньев транспортной сети и последовательном формировании набора конкурирующих вариантов маршрута, один из которых в дальнейшем войдёт в состав рациональной маршрутной схемы. На заключительном этапе предлагаемого алгоритма формируют альтернативные варианты рациональных маршрутных схем, основанные на сценариях развития транспортной инфраструктуры города. Это позволит обеспечить повышение скоростей движения всего транспортного потока и в результате уменьшить непроизводительные затраты времени городского населения на перемещения.

Дальнейшие исследования будут направлены на уточнение зависимостей и алгоритма расчёта скорости сообщения для различных видов пассажирского транспорта. При этом предполагается более полно учесть факторы, определяющие техническое состояние улично-дорожной сети, характеристики транспортных потоков, включая их сочетания. Кроме того, в ближайшей перспективе планируется изучить возможность автоматизации предлагаемых расчётных процедур с помощью специализированного программного обеспечения для транспортного планирования и моделирования — PTV Visum.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бунеев В. М., Новоселов В. И., Путилова Н. Н. Эффективность городского пассажирского транспорта: методы оценки и обоснования. — Новосибирск: НГАСУ, 2008. — 415 с.
2. Ефремов И. С., Кобозев В. М., Юдин В. А. Теория городских пассажирских перевозок. — М.: Высшая школа, 1980. — 535 с.
3. Спирин И. В. Научные основы комплексной реструктуризации городского пассажирского транспорта: Монография. — М.: ИКФ «Каталог», 2007. — 200 с.
4. Бурлуцкий А. А. Обеспечение эффективности функционирования дорожной сети крупного города

на основе учёта её взаимодействия с потоками пассажирского транспорта (на примере г. Томска). — Томск, 2015. — 196 с. [Электронный ресурс]: <https://www.dissercat.com/content/obespechenie-effektivnosti-funktsionirovaniya-dorozhnoi-seti-kрупного-goroda-na-osnove-uchet>. Доступ 21.05.2020.

5. Вучик В. Р. Транспорт в городах, удобных для жизни / Пер. с англ. А. Калинина, под науч. ред. М. Бликина. — М.: Территория будущего, 2011. — 576 с.

6. PIARC: 20th World Road Congress. Montreal, 3–9 September. Transportation and Urban Space Planning. National Reports, 1995, 487 p.

7. Taylor, B. D. Rethinking Traffic Congestion. Institute of Transportation Studies, University of California, Los Angeles, ACCESS, 2002, No. 21, 9 p.

8. Фишельсон М. С. Определение оптимального уровня развития маршрутной системы городского пассажирского транспорта // Проблемы комплексного развития транспортных систем городов. Тезисы докладов и сообщений всесоюзного науч.-техн. семинара (Минск, 17–19 мая 1978 г.) — Минск, 1978. — С. 135–138.

9. Вол М., Мартин Б. Анализ транспортных систем / Сокр. пер. с англ. — М.: Транспорт, 1981. — 516 с.

10. Рэнкин В. У., Клафи П., Халберт С. и др. Автомобильные перевозки и организация дорожного движения: Справочник / Пер с англ. — М.: Транспорт, 1981. — 592 с.

11. Трофименко Ю. В., Якимов М. Р. Транспортное планирование: формирование эффективных транспортных систем крупных городов: Монография. — М.: Логос, 2013. — 464 с.

12. Михайлов А. Ю., Головных И. М. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожной сети городов. — Новосибирск: Наука, 2004. — 267 с.

13. Бурлуцкий А. А., Корнев В. И., Гусева У. Ю. Градостроительные аспекты формирования транспортной схемы в историческом центре Томска // Вестник ТГАСУ. — Томск: Изд. ТГАСУ, 2018. — № 1. — С. 128–139. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/gradostroitelnye-aspekty-formirovaniya-transportnoy-shemy-v-istoricheskom-tsentre-g-tomska-1/pdf>. Доступ 21.05.2020.

14. Глик Ф. Г. Интерактивное конструирование маршрутной системы городского пассажирского транспорта // Градостроительство. — Киев: Будивельник, 1987. — Вып. 39. — С. 100–106.

15. Хрущёв М. В. Методы общей и локальной маршрутизации автобусного транспорта в городах: Монография. — М.: Гос. ун-т упр., 1999. — 168 с.

16. Ольховский С. Ю., Яворский В. В. Моделирование функционирования и развития маршрутизированных систем городского пассажирского транспорта: Монография. — Омск: Изд-во СибАДИ, 2001. — 138 с.

17. Ваксман С. А., Герасимов Н. М., Слепухина И. А. Информационные технологии в управлении городским общественным пассажирским транспортом: Монография. — Екатеринбург, 2012. — 258 с.

18. Dimitrov, S., Ceder, A., Chowdhury, S., Monot, M. Modeling the interaction between buses, passengers and cars on a bus route using a multi-agent system. *Transportation Planning and Technology*, 2017, Vol. 40, No. 5, pp. 592–610. DOI: <https://doi.org/10.1080/03081060.2017.1314504>.

19. СП 42.133.30.2016 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89*. — М.: Стандартинформ, 2017. — 90 с. [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/456054209>. Доступ 21.05.2020.





Development of an Approach to Improving the Passenger Transport Routing Scheme in a Large City



Andrey A. BURLUTSKY



Pavel A. ELUGACHEV

*Burlutsky, Andrey A., Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia.
Elugachev, Pavel A., Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia*.*

ABSTRACT

Despite high importance of mass passenger transport for ensuring mobility of urban population, the current period is characterized by a pronounced shift in priorities in implementation of measures for development of the transport system of a large city towards private transport. Along with impossibility of maintaining high rates of construction and reconstruction of the main street and road network, such a position regarding urban planning results in significant overload of almost the entire transport infrastructure of a large city. In the opinion of most experts, key measures aimed at stabilizing the transport situation in cities should comprise implementation of a policy of active development of the mass passenger transportation system. Among the issues of organizing passenger transport operation, the most interesting is the procedure for tracing routes followed by subsequent development of a rational routing scheme, since in many respects the urban passenger travel time will depend on the results there-of. Improvement of the passenger transport routing scheme, considered in relationship with development of the city's main street and road network, will allow achieving the required level of convenience by increasing traffic flow speed.

After reviewing domestic and foreign works devoted to the study of urban transportation systems, it was found that the known methods of development of passenger transport routing schemes do not fully consider the interaction of traffic flows with urban main roads. Often, experts pay insufficient attention to optimization criteria that allow a comprehensive analysis of rationality of routing schemes options. Analysis of the requirements for bus routing, the choice of priority directions for their development and convenience of movement made it possible to generalize the principles of designing routing schemes and to assign criteria for their optimization. It has been established that speed is the most significant criterion for optimizing transportation systems, considering the peculiarities of the organization of traffic flows on the road network of a large city and its transport and operational conditions. Based on the routing experience accumulated over almost a century, an approach has been developed to reasonable assignment of measures for reorganizing the routing scheme, which allows us to consider the factors that determine the technical condition of the road network and the characteristics of traffic flows. Its general idea is to connect separate links of the transport network and to sequentially develop a set of competing route options, one of which will later be included in the rational routing scheme.

Keywords: urban passenger transport, route, routing scheme, street and road network, optimality criteria, travel time.

*Information about the authors:

Burlutsky, Andrey A. – Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Road Department of Tomsk State University of Architecture and Building (TSUAB), Tomsk, Russia, abura124@yandex.ru.

Elugachev, Pavel A. – Ph.D. (Eng), Associate Professor, Head of the Department of Engineering Geology, Road Bridges and Structures, Vice-Rector for Research of Tomsk State University of Architecture and Building (TSUAB), Tomsk, Russia, nauka@tsuab.ru.

Article received 18.03.2020, accepted 27.06.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 174.

Background. The vital activity of a modern large city is supported by its infrastructure, in which the street and road network, as well as passenger transport operating on that network, occupy the central positions. It is necessary to highlight the high social importance of urban passenger transport, which manifests itself in ensuring freedom of movement of city residents and in reducing travel time.

To date, the degree of development of urban transport infrastructure does not allow to fully meet the transport needs of the population. First, this is due to a decrease in the pace of construction, reconstruction, and overhaul of transport infrastructure, e.g., roads. Transport problems are most acutely expressed in large cities, the planning scheme of which have been taking shape for a long period of time under the influence of historical factors. Under such conditions, insufficient development of road transport infrastructure leads to the fact that passenger travel time significantly exceeds the maximum permissible values [1; 2]. This contradicts the basic rule formulated earlier by the French architect Le Corbusier, according to whom the rate of modernization of transport infrastructure should not lag behind the rate of development of the city as a whole [3]. In turn, construction of new main streets and roads will require freeing of urban areas, which means that it will necessarily be accompanied by demolition of existing buildings. A more humane solution to the indicated problem is the rational use of underground and aboveground space, however, this will also require colossal investment. At present, one can observe the opposite, extremely negative phenomena, such as manifestation of activity in development of free urban areas and, above all, promising peripheral zones for mass housing construction and building of large shopping and entertainment complexes, which leads not only to significant congestion of transport roads, but to overload of the entire engineering infrastructure of a large city.

An increase in economic activity of the population, accompanied by an increase in transport mobility of citizens, leads to the fact that the daily use of a car becomes more attractive. At the same time, a passenger car is characterized by a low carrying capacity, while occupying a significant area of the carriageway. This testifies to ineffectiveness of using this type of passenger transport for performance of job travels that are stable and massive in certain periods of time. At the same time, it is obvious that all movements of

townspeople cannot be realized exclusively by public transport. It should be noted that cars play an equally important role in organization of the transportation process, because they can provide a significant part of urban travelling with cultural, domestic, and mixed purposes [4].

A significant increase in motorization, characteristic of cities in Western Europe and the United States in the post-war period, has caused the emergence of serious crisis phenomena, accompanied by traffic congestion, a decrease in car speeds and, finally, an increase in road traffic accidents. Even then, it became obvious to specialists that urban roads laid before mass emergence of cars did not correspond to the parameters of traffic. Later, many experts recognized the erroneousness of the previously chosen course and the need to implement a policy that presupposes development of a mass passenger transport system [5–10]. At the same time, the researchers note [5; 7; 9; 10] that the sole increase in attractiveness of mass transport does not allow by itself achieving the desired level of decrease in intensity of urban traffic flows. Besides, the pressure of the automotive industry contributes to distraction of attention of citizens from mass passenger transport and to development of the habit of using private transport.

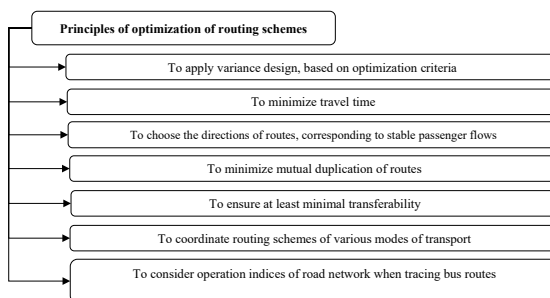
According to experts [11; 12], Russia lags behind some developed countries in terms of transport infrastructure development by more than 20 years, repeating the mistakes of other countries and, as a result, experiencing the same problems. Thus, the design solutions currently being developed in our country to a greater extent reflect the interests of the owners of private passenger cars, which provide no more than 40 % of the volume of passenger traffic. When modernizing the city's transport framework, attention paid to route operated types of public transport, represented by an insignificant share in the flow structure, but at the same time carrying out the bulk of passenger traffic, is clearly insufficient [1; 4; 12].

The pronounced disproportion in priorities for development of mass and private passenger transport contributes to strengthening of opposing of competing types of passenger transport to each other, and, as a result, brings the indicated problem to the highest urban planning level [13].

Many researchers [2; 3; 8; 12; 14–17] note that the choice of a rational routing scheme takes one of the most important places among the issues of organizing mass passenger transport operations. Urban passenger travel time largely depends on



Pic. 1. Principles of optimization of routing schemes (authors' scheme).



how well the routing scheme is developed. In this regard, the routing scheme must be considered in relationship with the city's road network.

Since the 30s of the last century, scientists from all over the world have been working on improving bus route schemes. In Russia, the works of A. P. Aleksandrov, L. A. Bronstein, A. Kh. Zilbertal, V. S. Larionov, A. A. Polyakov, D. S. Samoilov are fundamental in design of urban passenger transportation systems. The works of B. L. Geronimus, D. Dzhumayev, M. E. Antoshvili, V. M. Buneev [1], G. A. Varelopulo, I. V. Spirin [3], E. A. Safronov, M. V. Khrushchev [15], F. G. Glik [14], S. Yu. Olkhovsky [16] and V. V. Yavorsky are devoted to development of scientifically grounded methods of constructing bus routing schemes. Among the works of foreign authors, of particular interest are scientific studies devoted to the issues of modelling the public transportation network [18].

As a result of studying the experience of routing, it has been established that the existing methods for constructing optimal routing schemes require clarification of their provisions, since they do not consider technical parameters of city streets and roads. Thus, further development of an approach to reforming the routing scheme in relation with operation of the backbone network is an urgent issue.

The analysis of the requirements for operation of urban passenger transport, presented in some detail in scientific sources, made it possible to single out the main principles of optimization of traffic routing patterns (Pic. 1) [4].

The application of the principle of multivariance is due to complexity and ambiguity of the problem of routing for urban passenger transport and is dictated by the need to choose the most rational solution. Since the quantity of options can be large, it is important to use methods that reduce the number of possible options. This can be achieved by eliminating unrealistic and uncompetitive options, as well as

by selecting only a certain category of them for further detailed consideration [15].

The presentation of the objective in the form of a set of performance criteria is the most important stage in the study of the urban passenger transportation system. In this case, the most effective method is the one that allows us to search for a solution according to one of the most important criteria with transfer of the rest to the category of constraints. In general, it can be written as follows [4]:

$$\begin{cases} X \rightarrow \text{extrem} \\ Y_1^{\min} < Y_1 < Y_1^{\max} \\ \dots \\ Y_n^{\min} < Y_n < Y_n^{\max} \end{cases}, \quad (1)$$

where X is the most important criterion, determined based on expert estimates;

Y is a set of secondary criteria sufficient for a full description of the role of the object under the study.

The criteria for optimizing individual routes and routing schemes adopted in the work are presented in Table 1 [4]. According to most researchers, the main criterion may be travel time. Moreover, the norms of time spent on job travel are established by the current regulatory document [19].

Considering the multicriteria nature of the routing problem, the approach to choosing the most rational solution should be presented in the form [4]:

for a routing scheme:

$$\begin{cases} t_{av} \rightarrow \min \\ l_{\min} < l_r < l_{\max} \\ K_n < K_n^{\max} \\ K_{use} > K_{use}^{\min} \\ B_{av} < B_{\max} \end{cases},$$

for a separate route:

$$\begin{cases} t_{av} \rightarrow \min \\ K_r^{\min} < K_r < K_r^{\max} \\ \delta_r^{\min} < \delta_r < \delta_r^{\max} \\ K_t^{\min} < K_t < K_t^{\max} \\ K_n^{\min} < K_n < K_n^{\max} \end{cases}. \quad (2)$$

Table 1

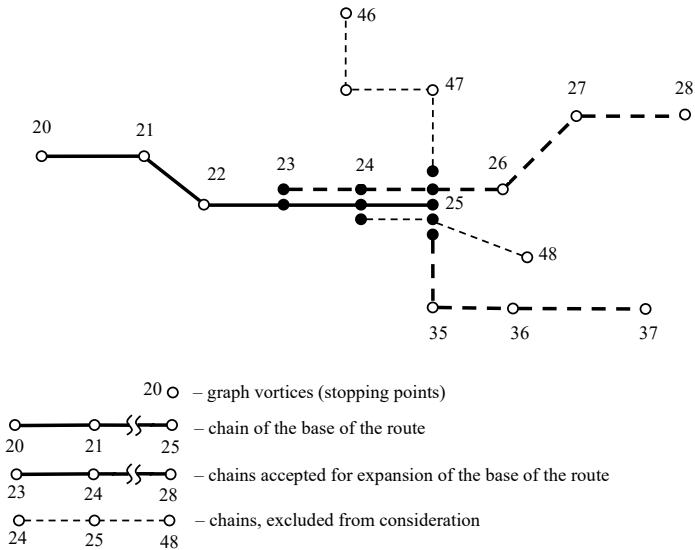
Criteria for optimization of passenger transport routing schemes

Optimization area	Name of optimization criteria	Rational limits of variance of criteria
Routing schemes	Average city resident travel time $t_{av\ tot}$	$t_{av\ tot} < 40\ min$
	Transferability coefficient K_t	$1,15 < K_t < 1,30$
	Route coefficient K_r	$2,0 < K_r < 3,0$
	Density of the route network MC_r	$1,5 < MC_r < 2,5$
	Coefficient of non-straightness of trips within the route network $K_{n\ tot}$	$K_{n\ tot} < 1,25$
Bus routes	Average passenger travel time $t_{av\ MT}$	—
	Length of the route l_r	ordinary 15–30 km circular up to 40 km
	Coefficient of use of provided seats [occupancy] K_{use}	$K_{use} > 0,5$
	Indicator of road surface condition B_{av}	$B_{av} < 3,0$
	Coefficient of non-straightness of trips within the route K_n	$K_n < 1,25$

Among the known approaches to improving the current routing scheme, the method of successive approximation to the optimal variant, considered in the works of F. G. Glik [14], should be distinguished. The development of this approach can be traced in the works of S. Yu. Olkhovsky and V. V Yavorsky [16]. Scientists have proposed more detailed dependencies and algorithms that allow a number of additional criteria to be taken into account when adjusting the route network. The ideas applied in this approach formed the basis of the methodology [4] proposed by the authors of the article.

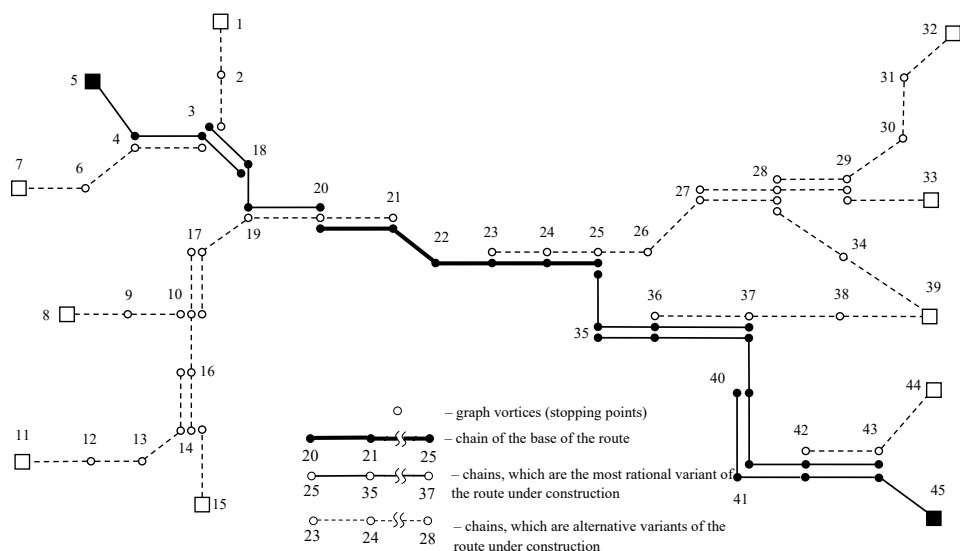
The considered methodology is based on the analysis of the matrix of trips not served by routes included in the original basic framework. The subsequent formation of a new candidate route consists in choosing its base corresponding to the

most straightforward chain from the table of unrealized links with the highest value of passenger traffic. Further actions are to build up the base under consideration by adding the most suitable links to it. In this case, all connections that partially coincide with the base of the route being formed are considered, from which several variants of combined chains are further constructed. Depending on location of the base of the route relative to the central part of the city, the build-up of connections to the original chain is performed in one direction or in different directions, consistently approaching the intended end points. For each superimposed chain, which is now considered as a new base of the route, the process of building connections is repeated (Pic. 2). Based on the resulting «tree» of chains, a set of variants of the projected route is formed

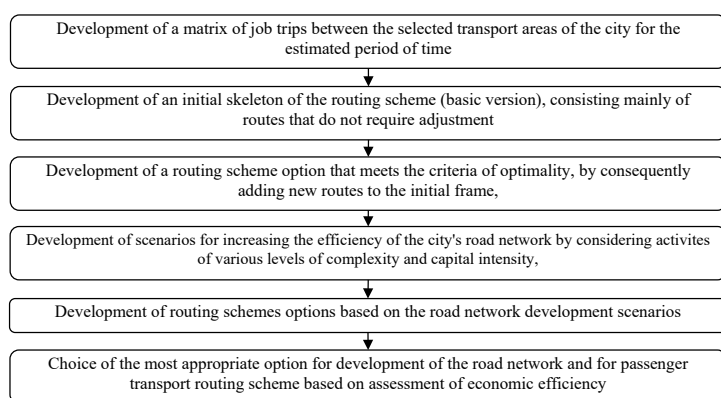


Pic. 2. Formation of variants of combined chains (authors' scheme).





Pic. 3. Formation of a subset of variants of the projected route (authors' scheme).



Pic. 4. The sequence of designing the passenger transport routing scheme, considering improvement of operational characteristics of the city's road network regarding its use for transport purposes (authors' scheme).

(Pic. 3). As a result of a directed search, the most rational option is selected, considering optimization criteria (Table 1), which will subsequently be included in the rational routing scheme.

The most rational variant of the route under consideration is identified in accordance with the adopted optimality criterion, chosen from the set of criteria that follows: average passenger travel time t_{av} , route length l_r , non-straightness coefficient of trips K_n , utilization rate of provided seats [occupancy] K_{use} . The procedure for including new routes into the initial framework is repeated until all possible trips have been implemented. At the same time, it is necessary to try to ensure that the number of transfers between disconnected areas does not exceed one. The process of designing a routing scheme is considered

complete if it fully meets all the necessary conditions.

The use of combinatorial analysis with directed selection of variants allows obtaining a single variant of the routing scheme, which is close to optimal in terms of its indicators. The formation of various options for routing schemes can be based on alternative scenarios for development of the city's transport network. The choice of the most preferable variant of the routing scheme is carried out based on optimality criteria selected above. In this case, the most significant criterion is travel time.

The main stages of designing a rational routing scheme, considering development of the city's main network, are shown in Pic. 4.

Conclusions. Considering the routing experience accumulated over a long period of

time, an approach has been developed to improve the bus routing scheme for the conditions of a large city, in relationship with the operational state of the road network regarding its use for transport purposes. In contrast to the previously developed methods, the proposed approach considers optimization criteria, which make it possible to comprehensively evaluate the efficiency of routing schemes. Its essence lies in the «gluing» of individual links of the transport network and in sequential developing of a set of competing route options, one of which will later be included in the rational routing scheme. At the final stage of the proposed algorithm, alternative variants of rational routing schemes based on scenarios for development of the city's transport infrastructure are developed. This will ensure an increase in speed of the entire traffic flow and, as a result, reduce the non-productive travel time.

Further research will be aimed at clarifying the dependencies and the algorithm for calculating speed of transportation for various types of passenger transport. At the same time, it is supposed to consider more comprehensively the factors that determine the technical condition of the road network, the characteristics of traffic flows, including their combinations. In addition, soon, it is planned to study the possibility of automating the proposed calculation procedures using specialized software for transport planning and modelling (PTV Visum).

REFERENCES

1. Buneev, V. M., Novoselov, V. I., Putilova, N. N. Efficiency of urban passenger transport: methods of assessment and justification [*Effektivnost' gorodskogo passazhirskogo transporta: metody otsenki i obosnovaniya*]. Novosibirsk, NGAVT publ., 2008, 415 p.
2. Efremov, I. S., Kobozov, V. M., Yudin, V. A. Theory of urban passenger transportation [*Teoriya gorodskikh passazhirskikh perevozok*]. Moscow, Vysshaya shkola publ., 1980, 535 p.
3. Spirin, I. V. Scientific foundations of the complex restructuring of urban passenger transport: Monograph [*Nauchnye osnovy kompleksnoi restrukturalizatsii gorodskogo passazhirskogo transporta: Monografiya*]. Moscow, ICF «Catalogue», 2007, 200 p.
4. Burlutsky, A. A. Ensuring the efficiency of operation of the road network of a large city on the basis of its interaction with the flows of passenger transport (on the example of Tomsk) [*Obespechenie effektivnosti funktsionirovaniya dorozhnoi seti krupnogo goroda na osnove ee vzaimodeistviya s potokami passazhirskogo transporta (na primere g. Tomska)*]. Tomsk, 2015, 196 p. [Electronic resource]: <https://www.disserscat.com/content/obespechenie-effektivnosti-funktsionirovaniya-dorozhnoi-seti-krupnogo-goroda-na-osnove-uchet>. Last accessed 21.05.2020.
5. Vuchik, V. R. Transport in cities convenient for life. [Russian ed., transl. from English by A. Kalinin]. Sc. ed. M. Blinkin. Moscow, Territory of the future, 2011, 576 p.

6. PIARC: 20th World Road Congress. Montreal, 3–9 September, 1995. Transportation and Urban Space Planning. National Reports, 1995, 487 p.
7. Taylor, B. D. Rethinking Traffic Congestion. Institute of Transportation Studies, University of California, Los Angeles, *ACCESS*, 2002, No. 21, 9 p.
8. Fishelson, M. S. Determining the optimal level of development of the route system of urban passenger transport [*Opreделение optimalnogo urovnya razvitiya marshrutnoi sistemy gorodskogo passazhirskogo transporta*]. In: Problems of complex development of urban transport systems. abstracts of reports and messages of the all-Union scientific-technical seminar (Minsk, May 17–19, 1978). Minsk, 1978, pp. 135–138.
9. Wohl M., Martin, B. V. Traffic system analysis [Russian ed., short. transl. from English]. Moscow, Transport publ., 1981, 516 p.
10. Transportation and traffic engineering handbook. Ed. by John E. Baerwald, Matthew J. Huber, Louis E. Keefer. [Russian title: Road transportation and traffic management: Handbook. *Avtomobilnye perevozki i organizatsiya dorozhnogo dvizheniya: spravochnik*. Transl. from English.]. Moscow, Transport publ., 1981, 592 p.
11. Trofimenko, Yu. V., Yakimov, M. R. Transport planning: development of efficient transport systems in large cities: Monograph [*Transportnoe planirovanie: formirovaniye effektivnykh transportnykh sistem krupnykh gorodov: Monografiya*]. Moscow, Logos publ., 2013, 464 p.
12. Mikhailov, A. Yu., Golovnykh, I. M. Modern trends in design and reconstruction of street and road network of cities [*Sovremennye tendentsii proektirovaniya i rekonstruktsii uchichno-dorozhnoi seti gorodov*]. Novosibirsk, Nauka publ., 2004, 267 p.
13. Burlutsky, A. A., Korenev, V. I., Guseva, U. Yu. Urban planning aspects of development of a transport scheme in the historical centre of Tomsk [*Gradostroitelnye aspekty formirovaniya transportnoi skhemy v istoricheskom tsentre Tomska*]. *Bulletin of TSUAB*. Tomsk, TSUAB publ., 2018, Iss. 1, pp. 128–139. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/gradostroitelnye-aspekty-formirovaniya-transportnoy-skemy-v-istoricheskom-tsentre-g-tomska-1/pdf>. Last accessed 21.05.2020.
14. Glik, F. G. Interactive design of the routing system of urban passenger transport [*Interaktivnoye konstruirovaniye marshrutnoi sistemy gorodskogo passazhirskogo transporta*]. *Gradostroitelstvo*. Kiev, Budivelnik, 1987, Iss. 39, pp. 100–106.
15. Khrushchev, M. V. Methods of general and local routing of bus transport in cities: Monograph [*Metody obshchei i lokalnoi marshrutizatsii avtobusnogo transporta v gorodakh: Monografiya*]. Moscow, Gos. un-t upr., 1999, 168 p.
16. Olkhovsky, S. Yu., Yavorsky, V. V. Modeling the functioning and development of routed systems of urban passenger transport: Monograph [*Modelirovaniye funktsionirovaniya i razvitiya marshrutizirovanykh sistem gorodskogo passazhirskogo transporta: Monografiya*]. Omsk, Publishing house SibADI, 2001, 138 p.
17. Vaksman, S. A., Gerasimov, N. M., Slepukhina, I. A. Information technologies in management of urban public passenger transport: Monograph [*Informatsionnye tekhnologii v upravlenii gorodskim obshchestvennim passazhirskim transportom: Monografiya*]. Yekaterinburg, 2012, 258 p.
18. Dimitrov, S., Ceder, A., Chowdhury, S., Monet, M. Modeling the interaction between buses, passengers and cars on a bus route using a multi-agent system. *Transportation Planning and Technology*, 2017, Vol. 40, No. 5, pp. 592–610. DOI: <https://doi.org/10.1080/03081060.2017.1314504>.
19. SP 42.13330.2016 [Construction rules] Urban planning. Planning and development of urban and rural settlements. Updated edition of SNiP 2.07.01-89*. Moscow, Standartinform, 2017, 90 p. [Electronic resource]: <http://docs.cntd.ru/document/456054209>. Last accessed 21.05.2020.





Внедрение новейшей железнодорожной техники на основе межотраслевой кооперации



Троицкий Павел Сергеевич — Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия.*

Павел ТРОИЦКИЙ

Описаны прямые и внешние эффекты от развития объектов железнодорожной транспортной инфраструктуры. Приведены примеры межотраслевого сотрудничества в транспортной сфере в российской и международной практике. Делается вывод, что развитие межотраслевой производственно-транспортной кооперации хозяйствующих субъектов позволяет резко ускорить научно-технический прогресс в железнодорожной отрасли, а именно, разрабатывать и внедрять новые модели железнодорожной техники, перевозочные технологии, в том числе с учётом региональных особенностей транспортного рынка.

В практической части работа преследует цель рассмотрения преиму-

ществ внедрения модульных грузовых электропоездов (МГЭП), определения основных групп грузовладельцев, на которых ориентирован данный вид подвижного состава. Приведены результаты расчётов снижения времени хода и удельного расхода электроэнергии при внедрении МГЭП. Представлены рассчитанная стоимость прицепного и моторного вагона МГЭП, а также результаты экономических расчётов NPV эксплуатации МГЭП в сравнении с поездом локомотивной тяги за период жизненного цикла. Для достижения цели в работе использованы методы сопоставления технических объектов и финансового планирования.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, транспортно-производственное партнёрство, моторвагонные грузовые поезда, распределённая тяга, ускоренные грузовые перевозки, энергетическая эффективность.

*Информация об авторе:

Троицкий Павел Сергеевич – аспирант кафедры электрической тяги Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия, paveltroickiy@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 26.12.2019, актуализирована 13.07.2020, принята к публикации 21.08.2020.

For the English text of the article please see p. 194.

ВВЕДЕНИЕ

С макроэкономической точки зрения, железные дороги — индикатор и инструмент макроэкономической политики. От работы железнодорожного транспорта зависят прогресс в иных сферах экономики, транспортная подвижность населения, комплексное развитие территорий. Недопустима ситуация сдерживания экономического роста страны запаздывающими темпами создания транспортной инфраструктуры, внедрения новейшей техники и технологий на железных дорогах.

Целью изложенного в статье исследования является обоснование экономической эффективности внедрения модульных грузовых поездов для определённого вида перевозок — контейнерных, контейнерных, рефрижераторных, определение спектра грузов, для которых данный вид подвижного состава наиболее эффективен.

Для достижения указанной цели в работе применены методы сравнительного анализа, контент-анализа технической информации, планирования денежных потоков и финансовых вычислений.

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИЙ

В Российской Федерации, согласно Программе структурной реформы на железнодорожном транспорте, целями реформирования являются: повышение устойчивости работы железнодорожного транспорта, его доступности, безопасности, качества предоставляемых им услуг для обеспечения единого экономического пространства страны и общенационального экономического развития; формирование единой гармоничной транспортной системы страны; снижение совокупных народно-хозяйственных затрат на перевозки железнодорожным транспортом; удовлетворение спроса на услуги железнодорожного транспорта [1].

Не останавливаясь на имевшей место дискуссии относительно проблем и последствий, связанных с реформированием (среди наиболее заметных, но неоднозначно оцениваемых работ, посвящённых этой теме, можно выделить [2]), отметим, что возникновение новых транспортных артерий, улучшение технологии перевозок на

существующих магистралях порождают не только прямые, получаемые непосредственно владельцем транспортной инфраструктуры выгоды, но и внешние, комплексные мультипликативные эффекты.

К прямым транспортным эффектам можно отнести:

- дополнительный доход от взимания платы за проезд и перевозку грузов на железнодорожном транспорте;
- сокращение затрат на перевозку грузов и пассажиров иными видами транспорта в связи с улучшением дорожных условий (уменьшением пробок, аварий на автодорогах, увеличение скорости доставки по сравнению с водным транспортом, снижение стоимости доставки по сравнению с авиатранспортом);
- сокращение капитальных вложений в иные объекты транспортной инфраструктуры в связи с уменьшением времени доставки грузов и пассажиров;
- сокращение потерь транспорта, связанных с компенсацией ущерба за причинение экологического вреда окружающей среде (эффект от снижения выбросов CO₂ автомобильного и авиатранспорта, загрязнений объектов водной инфраструктуры).

Внешние эффекты связаны с получением выгод экономическими субъектами во внетранспортной отрасли. К таким эффектам относятся:

- сокращение потерь времени пребывания пассажиров в пути, в том числе благодаря снижению заторов на дорогах;
- сокращение непроизводительных потерь пассажиров за счёт снижения транспортной усталости (снижение производительности труда после поездки);
- сокращение потребности предприятий и организаций в оборотных средствах в связи с повышением скорости доставки материалов и готовой продукции за счёт улучшения техники и технологии перевозок;
- сокращение потерь от дорожно-транспортных происшествий;
- рост стоимости недвижимости, а также арендных ставок на недвижимость, вызванный развитием прилегающей транспортной инфраструктуры;
- рост поступлений налогов на имущество и на землю от объектов недвижимости, вызванный развитием прилегающей транспортной инфраструктуры;



- рост поступлений налогов на прибыль и добавленную стоимость от эксплуатации и реализации объектов недвижимости, вызванной развитием железнодорожного транспорта;

- эффект от роста доходов населения в связи с созданием новых рабочих мест и, как следствие, рост поступлений налога на доходы физических лиц во внетранспортных отраслях;

- эффект роста чистой прибыли хозяйствующих субъектов, связанный с увеличением покупательской активности за счёт создания новых бизнесов и рабочих мест в регионе прилегания транспортной артерии;

- эффект от увеличения доступности территорий и, как следствие, развития туризма;

- эффект от снижения уровня преступности за счёт повышения занятости населения при создании новых рабочих мест на прилегающих к транспортной инфраструктуре территориях.

Определение общественной (социально-экономической) эффективности реализации мероприятий развития транспортной инфраструктуры следует производить путём сравнения общественных затрат и результатов, которые будут иметь место на транспорте (прямые эффекты) и в нетранспортных отраслях народного хозяйства (внешние эффекты) в случае осуществления этих мероприятий с теми затратами и результатами, которые будут иметь место при отказе от их реализации.

МЕЖВИДОВАЯ И МЕЖОТРАСЛЕВАЯ КООПЕРАЦИЯ

Все перечисленные внешние внетранспортные эффекты можно измерить в денежном выражении и оценить их влияние на совокупный ВВП страны. Безусловно, главным интересантом и бенефициаром от инвестиций в строительство, модернизацию, содержание транспортных объектов является государство. Однако для получения прямых транспортных эффектов в условиях насыщения рынка транспортных услуг современные методы и формы хозяйствования должны применять и негосударственные экономические субъекты. В качестве примера такого подхода можно привести проект развития туристического

кластера «Сортавала—Рускеала—Валаам» в районе прилегания малоделятельной Западно-Карельской железной дороги. Дирекция по организации скоростного сообщения ОАО РЖД (ДОСС) в декабре 2018 года запустила две пары скоростных поездов «Ласточка» по маршруту Санкт-Петербург—Сортавала, которые помимо обслуживания туристов кластера, принимают на себя ещё и часть социальных перевозок между малыми населёнными пунктами Республики Карелия и Ленинградской области. При этом качественно повысился уровень транспортного обслуживания в регионе. Если раньше от Санкт-Петербурга до Сортавалы нужно было ехать автобусом 6–7 часов по извилистой автодороге, то теперь электропоезд «Ласточка» проходит это расстояние всего за четыре часа. Посмотреть туристические объекты Сортавалы, Валаамский монастырь или горный парк Рускеала можно за один день. При незначительной доходности или даже убыточности данных перевозок, необходимости применения на этом маршруте двух видов тяги (тепловозной и электрической), проектом получен интегральный социально-экономический эффект, который должен перераспределяться между субъектами туристической сферы и транспортного бизнеса. Такое перераспределение может происходить в форме создания совместных предприятий (например, предприятий транспорта и турбизнеса), контрактов на перевозку, концессионных соглашений и др.

В международной практике к транспортным проектам межвидовой и межотраслевой кооперации можно отнести, например, пассажирские интермодальные железнодорожно-автобусные перевозки чешских компаний Leo Express и RegioJet собственным локомотивным, вагонным и моторвагонным парком; грузовые перевозки контейнеров моторвагонными электропоездами компании Mercitalia в Италии; интермодальные железнодорожные, автобусные и паромные перевозки японской компании West Japan Railway; диверсифицированный бизнес железнодорожной компании Union Pacific Railroad Co в США, включающий перевозки сельскохозяйственной продукции, автомобилей, химикатов, угля [3]. Подвижной состав

данных мультиотраслевых холдингов приобретался и проектировался непосредственно под нужды производственных подразделений компании и конкретных заказчиков транспортных услуг.

Создание транспортно-производственных объединений, участие в железнодорожном транспортном бизнесе организаций и производств, жизненно заинтересованных в стабильной работе транспорта, обеспечении сжатого графика перевозок для собственных нужд, позволяет опережающими темпами обеспечить внедрение передовой, наукоёмкой железнодорожной техники и технологий.

МОТОРВАГОННЫЕ ГРУЗОВЫЕ ЭЛЕКТРОПОЕЗДА КАК ОБЪЕКТ КООПЕРАЦИИ

В ходе научных исследований нами проведены тяговые и энергетические расчёты, а также разработан алгоритм формирования модульных моторвагонных грузовых электропоездов (МГЭП) по критерию энергетической эффективности [4–8].

Считаем, что во внедрении данного подвижного состава будут заинтересованы те участники рынка перевозок, которым необходимо повысить ритмичность отправок, сохранность груза в пути следования, снизить риск разморозки товара при перевозке в рефрижераторных контейнерах, а также сэкономить энергию на тягу поездов.

Применение МГЭП позволяет снизить продольные сжимающие нагрузки на автосцепные устройства вагонов до 400 кН, (в 6,25 раза по сравнению с вагонами локомотивной тяги), облегчить массу металлоконструкции рам вагонов на 1,6 т (на 7,3 % от общей массы тары). При этом снижение стоимости прицепного вагона МГЭП составит 76,8 тыс. руб. или 3,84 %. Экономия массы тары вагона позволяет при неизменной тяговой мощности и том же количестве моторных вагонов увеличить число прицепных вагонов в составе МГЭП. С учётом привлечения дополнительной массы груза коэффициент тары МГЭП станет меньше, чем у поезда локомотивной тяги.

За счёт возможности применения электропневматических тормозов (ЭПТ) на МГЭП и сокращения времени подготовки

тормозов к действию удастся сократить тормозной путь поезда на 30–40 % и тем самым повысить скорость движения – пропускать грузовые поезда по графику пассажирских или в пакете графика с пассажирскими поездами, что позволит разгрузить провозную способность железнодорожных линий. Помимо этого, применение ЭПТ у МГЭП позволит сократить время на проведение опробования тормозов на станциях, улучшит управляемость и безопасность следования поезда, поскольку машинист с помощью электропневматической магистрали постоянно сможет контролировать давление в тормозных цилиндрах и зарядных резервуарах каждого вагона. В грузовом электропоезде возможна реализация концепции снижения зарядного давления в тормозной магистрали и повышения плотности соединения тормозных сетей, что будет способствовать не только уменьшению энергетических затрат на ведение поезда и повышению срока службы компрессоров, но, главное, – улучшению управляемости тормозными средствами поезда, которая играет важнейшую роль в обеспечении безопасности движения [9].

Снизятся эксплуатационные расходы на пропуск поездопотоков, так как существенно уменьшится число глубоких торможений и последующих за ними разгонов грузовых поездов, а значит и расход электроэнергии на тягу. Выявлено, что расход электроэнергии при регулировании суммарной мощности тяговых электродвигателей у МГЭП ниже, чем у поезда локомотивной тяги, поскольку у МГЭП регулирование требуемой мощности происходит более манёвренно в силу меньшей мощности каждого отдельного ТЭД и большего их количества. Наибольший эффект при применении алгоритма отключения избыточной мощности у МГЭП проявляется на участках с переменным равнинно-горным профилем пути, что позволяет существенно экономить энергию на тягу поездов при использовании МГЭП на широтных полигонах. Расчёты показали, что на участке Медвежья Гора–Новый Посёлок Октябрьской железной дороги снижение удельного расхода электроэнергии в направлении «туда» на 4,6 %, а в направлении «обратно» на 3,9 % в сравнении с поездом аналогичной массы, ведомым электровозом ЗЭС5К.





На участке Кривенковская—Гойтх Северо-Кавказской железной дороги удельный расход электроэнергии в направлении «туда» меньше на 4,6 %, в направлении «обратно» меньше на 0,4 % в сравнении с поездом той же массы, ведомым электровозом 3ЭС4К. Время хода у МГЭП на участке Кривенковская—Гойтх в направлении «туда» меньше на 2,6 %, в направлении «обратно» на 9,3 %.

Вопросы управления энергоэффективностью в многодвигательных тяговых модулях постоянно находятся в поле зрения исследователей, поскольку в их решении заложены значительные резервы снижения себестоимости перевозок [10–13].

Применение электродинамических тормозов также более эффективно и безопасно на МГЭП по сравнению с поездом локомотивной тяги, поскольку торможение производится моторными вагонами, распределёнными по составу, что снижает риск схода прицепных вагонов, выдавливания их в кривых, а также уменьшает продольно-динамические реакции состава на переломных профилях пути.

Нами определена целевая (максимально допустимая на текущий момент) цена моторного вагона МГЭП – 60 млн руб., прицепного вагона МГЭП – 1,92 млн руб., единовременные затраты на оборудование депо по эксплуатации – 20 % от цены приобретения МГЭП. При таких параметрах

капитальных вложений во внедрение данного вида тяги по совокупности технологических, экономических эффектов по критерию максимума чистой приведённой стоимости (NPV) за период эксплуатации работа МГЭП предпочтительнее, чем перевозки поездами локомотивной тяги. Например, при сравнении двух поездов – МГЭП и поезда локомотивной тяги с электровозом 3ЭС5К, способных перевозить равный по массе груз – 4000 т при равной тяговой мощности 9600 кВт и равных доходных ставках, за период эксплуатации 40 лет величина NPV у поезда с электровозом 3ЭС5К составит 21,039 млрд руб., у МГЭП – 21,101 млрд руб., т.е. на 0,3 % выше, что подтверждает конкурентоспособность МГЭП при заданных характеристиках.

Составность моторвагонных грузовых поездов несомненно должна быть изменяемой. При этом возможно применение автоматической цифровой сцепки, использование которой позволит не только быстро автоматически сцеплять/расцеплять вагоны, но и производить автосоединение воздуховодов тормозных магистралей, электрических контактов магистралей электропитания различных цепей (ЭПТ, рефрижераторов и др.).

Применение грузовых электропоездов решает проблему стабильного и надёжного энергообеспечения рефрижераторных

контейнеров, специализированных съёмных кузовов вагонов-цистерн, требующих энергии для обеспечения работы паровых рубашек, тепловых электрических нагревателей и охладителей, обеспечивающих перевозку наливных грузов в надлежащем состоянии на дальние расстояния.

Применение грузовых электропоездов возможно и для ускоренной перевозки контейнеров, что позволит снизить удельные выбросы CO_2 и окажет положительный экологический эффект.

Наибольший потенциал для организации контейнерных перевозок в России, на наш взгляд, имеют максимально загруженные автотранспортные направления, где более высокая скорость прохождения погранпереходов и доставки грузов по железной дороге составит фактор существенного снижения логистических издержек. К таким направлениям можно отнести Москва—Санкт-Петербург—Финляндия, Москва—Минск—Брест—Варшава, Москва—Минск—Вильнюс—Калининград.

ВЫВОДЫ

Создание модульных грузовых электропоездов в рамках транспортно-производственной кооперации возможно в таких отраслях, как производство и перевозка продуктов питания, технических жидкостей, требующих особых условий температурного режима при хранении и транспортировке, ускоренная доставка высокотехнологичной бытовой и компьютерной техники, машин и оборудования, лекарств, предметов моды, других грузов с высокой добавленной стоимостью. Помимо этого, преимущества грузовых электропоездов проявятся на полигонах с нестабильным грузопотоком, на участках со сложным профилем пути, где возможны вынужденные остановки и разгон на крутых подъёмах и спусках, где применяется подталкивание, двойная тяга.

Моторвагонные грузовые электропоезда — это специализированный подвижной состав, его внедрение несколько не отменит дальнейшего развития поездов локомотивной тяги, основная сфера применения которых останется за транспортировкой массовых, насыпных, сырьевых грузов. Потребность современной экономики,

соответствие целям реформирования железнодорожного транспорта, появление института частных специализированных перевозчиков позволят МГЭП занять значительную нишу на внутригосударственных, международных и транзитных маршрутах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Программа структурной реформы на железнодорожном транспорте. Утверждена Постановлением Правительства РФ от 18 мая 2001 года № 384. [Электронный ресурс]: https://base.garant.ru/183354/#block_1000. Доступ 21.01.2020.
2. Гурьев А. И. Из тупика: история одной реформы. — СПб.: РЖД-Партнёр, 2008. — 800 с.
3. Железнодорожные перевозки — крупнейшие компании. [Электронный ресурс]: <https://www.oborudunion.ru/largest/jelezna-doroga-uslugi>. Доступ 10.04.2020.
4. Зайцев А. А., Троицкий П. С. Моторвагонные грузовые электропоезда — альтернатива локомотивной тяге. Сравнение и анализ // Мир транспорта. — 2019. — Вып. 17 (3). — С. 72–81. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-3-72-812>.
5. Троицкий П. С. Алгоритм подбора моторных и прицепных вагонов в грузовом поезде моторвагонной тяги по критерию энергетической эффективности // Транспортные системы и технологии. — 2020. — Т. 6. — № 1. — С. 104–119. DOI: [10.17816/transsyst202061104-119](https://doi.org/10.17816/transsyst202061104-119).
6. Троицкий П. С. Обоснование снижения массы рамы вагона-платформы для перевозки контейнеров в модульных грузовых электропоездах // Транспортные системы и технологии. — 2020. — Т. 6. — № 2. — С. 70–84. DOI: [10.17816/transsyst20206270-84](https://doi.org/10.17816/transsyst20206270-84).
7. Зайцев А. А., Троицкий П. С. Анализ снижения рисков на железнодорожной инфраструктуре при внедрении моторвагонных грузовых электропоездов // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2020. — Т. 17. — № 3. — С. 345–352. DOI: [10.20295/1815-588X-2020-3-345-352](https://doi.org/10.20295/1815-588X-2020-3-345-352).
8. Зайцев А. А., Троицкий П. С. Выбор распределённой тяги для грузовых поездов // Материалы VI Международной научно-технической конференции «Локомотивы. Электрический транспорт. XXI век, 13–15 ноября 2018 года». — Т. 1 — С. 215–218. — СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2018. — 288 с.
9. Гребенюк П. Т. Продольная динамика поезда: Труды ВНИИЖТ. — М.: Интекст, 2003. — 95 с.
10. Андрущенко А. А., Зарифьян А. А. (мл.), Колпахчан П. Г. Повышение энергетической эффективности пассажирских электропоездов с асинхронным тяговым приводом // Известия ПГУПС. — 2015. — № 4. — С. 5–14.
11. Зарифьян А. А. Определение полезной работы, совершаемой локомотивом при тяге поезда // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. — 2018. — № 1 (69). — С. 40–49.
12. Зарифьян А. А. (мл.) Дискретно-адаптивное управление тяговым приводом грузового электропоезда при работе с неполной нагрузкой // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. — 2018. — № 1 (69). — С. 49–58.
13. Титова Т. С., Евстафьев А. М., Сычугов А. Н. Повышение энергетической эффективности электрического подвижного состава переменного тока // Электротехника. — 2017. — № 10. — С. 46–52. ●





Introduction of the Latest Railway Technology based on Intersectoral Cooperation



Troitskiy, Pavel S., Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia.*

Pavel S. TROITSKIY

ABSTRACT

The article studies direct and external effects produced by the development of railway infrastructure facilities. Examples of intersectoral cooperation in the transport sector in Russian and international practices confirm that development of intersectoral production and transport interaction of business entities allows to radically accelerate scientific and technological progress in the railway industry, namely, to develop and introduce new models of railway rolling stock, new transportation technology, considering also regional features of the transportation market.

The practical part considers the advantages of introduction of freight electric multiple-unit trains (FEMUT), identifying the main groups of cargo owners, for whom this type of rolling stock is intended. The results of calculations show possible reduction in running time and in specific consumption of electric power when introducing FEMUT. The calculated costs of self-propelled (motor) and trailer wagons of FEMUT are followed by the results of economic calculations of NPV of life cycle operation of FEMUT in comparison with a train with locomotive traction. To achieve the stated objectives of the research, the work uses methods and tools of technical comparison and of financial planning.

Keywords: *railway transport, transport and industry partnership, multiple-unit freight trains, distributed traction, accelerated freight transportation, energy efficiency.*

*Information about the author:

Troitskiy, Pavel S. – Ph.D. student at the Department of Electric Traction of Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia, paveltroickiy@mail.ru.

Article received 26.12.2019, revised 13.07.2020, accepted 21.08.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 188.

Introduction.

From a macroeconomic point of view, railways can be considered as both an index and instrument of macroeconomic policy. The progress in other sectors of the economy, transport mobility of the population, and comprehensive development of territories depend on the activity of railways. The delays in rate of development of transport infrastructure, lagging in introduction of new technology and rolling stock, and that is particularly important for Russia, are unacceptable being the factors constraining a country's economic growth.

The *objective* of the research described in the article is to substantiate the economic efficiency of introduction of modular freight trains for certain types of transportation (container, piggyback transportation, carriage of refrigerated goods), to determine the range of goods for which this type of rolling stock is most effective.

To achieve this objective, the research applied *methods* of comparative analysis, content analysis of technical information, planning of cash flows and financial calculations.

Social and economic efficiency of innovations

In Russian Federation, according to the Program of Structural Reform in Railway Transport, the objectives of the reform are: to increase stability of operation of railway transport, its accessibility, safety, and quality of services provided by it to ensure a single economic space of the country and national economic development; to form a single harmonious transport system of the country; to reduce total national economic costs of railway transportation; to meet the demand for railway services [1].

Omitting past discussions happened about problems and consequences resulting from the reform (it is possible to mention [2] as one of noticeable but most controversially estimated works dedicated to that topic) it is worth highlighting that emergence of new transport arteries, improvement of transportation technology on existing railways generate not only direct benefits obtained directly by the owner of the transport infrastructure, but also external, complex multiplier effects.

Direct transport effects include:

- additional income from collection of fares and transportation of goods by rail;
- reduction of cost of transporting goods and passengers with other modes of transport due to improved road conditions (reduced traffic jams,

decreased rate of road accidents, increased delivery speed compared to water transport, reduced delivery costs compared to air transport);

- reduction of capital investments in other objects of transport infrastructure due to a decrease in time of delivery of goods and passengers;

- reduction of transport losses associated with compensation for damage environmental damage (the effect of reducing CO₂ emissions from road and air transport, pollution of water infrastructure.

External effects are associated with receipt of benefits by economic entities in the non-transport industry. These effects include:

- reduction of losses of passenger travel time, including due to reduction of traffic congestion;
- reduction of unproductive losses of passengers by reducing transport fatigue (decrease in labor productivity after a trip);

- reducing the need of enterprises and organizations in current assets due to increase in speed of delivery of materials and finished products because of improvement of equipment and technology of transportation;

- reduction of losses from road accidents;
- increase in the value of real estate, as well as of rental rates for real estate because of development of the adjacent transport infrastructure;

- increase in property and land tax revenues from real estate, thanks to development of the adjacent transport infrastructure;

- increase in income taxes on profit and value added from operation and sale of real estate, caused by development of railway transport;

- effect of growth of incomes of the population following creation of new jobs and, as a consequence, the growth of tax revenues on the income of individuals in the non-transport sectors;

- effect of growth in the net profit of economic entities associated with an increase in purchasing activity due to creation of new businesses and jobs in the region adjacent to the transport artery;

- effect of an increase in accessibility of territories and, as a consequence, of development of tourism;

- effect of reducing the crime rate due to increased employment of the population following creation of new jobs in the areas adjacent to the transport infrastructure.

The evaluation of the public (socio-economic) efficiency of implementation of measures focused



on development of transport infrastructure should be made by comparing public costs and results, which will take place in transport sector (direct effects) and in non-transport sectors of the national economy (external effects) in case of implementation of these measures with the costs and results, which will take place in case of failure of their implementation.

Intermodal and intersectoral cooperation

All above external out-of-transport effects can be measured in monetary terms and their impact on the country's total GDP can be assessed. Of course, the state is the main stakeholder and beneficiary of investments in construction, modernization, and maintenance of transport facilities. However, to obtain direct transport effects under the conditions of saturation of the transport services market, modern methods and forms of management should be applied by non-state business entities. As an example of this approach, we can cite the project for development of the tourist cluster «Sortavala—Ruskeala—Valaam» in the vicinity of low loaded West Karelian railway. In December 2018, the High-Speed Transportation Directorate of JSC Russian Railways (DOSS) launched two pairs of high-speed trains «Lastochka» on the route St. Petersburg—Sortavala, which, in addition to serving tourists in the cluster, also take over part of the socially important transportation between small settlements of the Republic of Karelia and Leningrad region. At the same time, the level of transport services in the region has improved. If earlier it was necessary to travel by bus from St. Petersburg to Sortavala along a winding road for 6–7 hours, now Lastochka electric train covers this distance in just four hours. It is possible to see the tourist sites of Sortavala, Valaam Monastery or Ruskeala Mountain Park during a single day. With insignificant profitability or even unprofitableness, and the need to operate two types of traction on this route (diesel and electric locomotives), the project obtained an integral socio-economic effect, which should be redistributed between the subjects of the tourism sector and the transport business. Such redistribution can take the form of creation of joint ventures (for example, transport and tourist enterprises), contracts for transportation, concession agreements, etc.

International practices show examples of transport projects of intermodal and intersectoral

cooperation comprising: passenger intermodal railway and bus transportation of the Czech companies Leo Express and RegioJet with their own locomotive, car and motor-car fleet; freight transportation of trailers by Mercitalia electric multiple-unit trains in Italy; intermodal rail, bus and ferry services of the Japanese company West Japan Railway; diversified business of the railway company Union Pacific Railroad Co in the USA, including transportation of agricultural products, cars, chemicals, coal [3]. The rolling stock of these multi-industry holding companies was purchased and designed directly for the needs of the company's production units and specific customers of transportation services.

The creation of transport and production associations, participation in railway transport business of organizations and industries that are vitally interested in stable operation of transport, ensuring a well-coordinated transportation schedule for their own needs allow to ensure introduction of advanced, science-intensive railway technics, equipment and technologies at an accelerated pace.

Freight electric multiple-unit trains as the object of cooperation

Scientific research concerned traction and energy calculations, and also an algorithm for composition of modular Freight Electric Multiple-Unit Trains (FEMUT) by the criterion of energy efficiency [4–8].

In author's opinion, the introduction of this rolling stock will be of interest to those participants in the transportation market who need to increase the rhythm of shipments, safety of cargo along the route, to reduce the risk of goods being defrosted during transportation in refrigerated containers, and to save energy for traction of trains.

The use of FEMUT makes it possible to reduce the longitudinal compressive loads on wagon couplers up to 400 kN (by 6,25 times compared to locomotive-hauled wagons), to lighten weight of metal structures of wagon frames by 1,6 tons (by 7,3 % of the total container weight). At the same time, the decrease in the cost of FEMUT trailer car will amount to RUB76,8 thousand or 3,84 %. Saving the weight of wagon container allows, with constant tractive power and the number of motor wagons, to increase the number of trailer cars within FEMUT. Considering the additional mass of cargo, the tare coefficient of

FEMUT will become less than that of a locomotive-hauled train.

Since there will be a possibility of using electro-pneumatic brakes (EPB) for FEMUT and reduced response time for braking, it will be possible to reduce the stopping distance of the train by 30–40 % and thereby to increase speed of movement – to process freight trains according to the passenger's schedule or in the in the same schedule slot with passenger trains, which will unload transit capacity of railway lines. In addition, the use of EPB for FEMUT will reduce time for testing the brakes at stations, improve controllability and safety of the train, since the driver, using an electro-pneumatic line, will constantly be able to control pressure in brake cylinders and charging tanks of each wagon. In a freight electric train, it is possible to implement the concept of reducing the charging pressure in the brake line and increasing the density of connection of brake networks, which will help not only to reduce the energy costs of driving the train and increase the service life of compressors, but also, most importantly, to improve controllability of train brakes, which plays the most important role in ensuring traffic safety [9].

The operating costs for transit of train flows will decrease, since the rate of strong braking and subsequent acceleration of freight trains will significantly decrease, which means reduced consumption of electricity for traction. It was revealed that the power consumption when regulating the total power of traction electric motors in FEMUT is lower than that of a locomotive-hauled train, since in FEMUT the regulation of the required power is more maneuverable due to the lower power of each individual traction motor and a larger number of them. The greatest effect when using the algorithm for turning off excess power at FEMUT is manifested in sections with a variable flat-mountain track profile, which allows to significantly save energy for traction of trains when using FEMUT on latitudinal network segments. Calculations made at Medvezhya Gora–Novy Poselok section of Oktyabrskaya railway, showed decrease in specific power consumption in the direction «there» by 4,6 %, and in the direction «back» by 3,9 %, compared to a train of similar weight driven by an electric locomotive 3ES5K. On Krivenkovskaya–Goyth section of the North Caucasian Railway, the specific power

consumption in the direction «there» is 4,6 % less, in the direction «back» it is less by 0,4 % in comparison with the train of the same weight driven by 3ES4K electric locomotive. The travel time with FEMUT on Krivenkovskaya–Goyth section in the direction «there» is less by 2,6 %, in the direction «back» it is less by 9,3 %.

The problems of energy efficiency management in multi-engine traction modules are constantly followed by researchers since their solution includes significant reserves for reducing the cost of transportation [10–13].

The use of electrodynamic brakes is also more efficient and safer at FEMUT compared to a locomotive-hauled train, since braking is performed by motor cars distributed along the train, which reduces the risk of derailling of trailer cars, squeezing them out in curves, and also reduces the longitudinal-dynamic reactions of the train at breaking track profiles.

We have determined the target (currently maximum allowable) prices of a FEMUT motor (self-propelled) wagon which is 60 million rubles, of a FEMUT trailer car (1,92 million rubles), and one-time costs for the depot equipment for operation FEMUT (equal to 20 % of the purchase price of FEMUT). With such parameters of capital investments for introduction of this type of rolling stock, in terms of total technological, economic effects by the criterion of the maximum net present value (NPV) for the period of operation, operation of FEMUT is preferable as compared to trains with locomotive traction. For example, when comparing two trains, a FEMUT and a locomotive-hauled train with an electric locomotive 3ES5K, both capable of carrying a load of equal weight (4000 tons) with an equal traction power of 9600 kW and equal profitability rates, for a period of operation of 40 years, the NPV value for a train with an electric locomotive 3ES5K will be 21,039 billion rubles, for FEMUT it will be 21,101 billion rubles, i.e. 0,3 % higher, which confirms the competitiveness of FEMUT with the given characteristics.

The composition of multi-unit freight trains must undoubtedly be variable. At the same time, it is possible to use an automatic digital coupler, the use of which will allow not only to couple/uncouple the wagons quickly and automatically, but also to auto-connect the air ducts of brake lines, electrical contacts of power lines of various circuits (EPT, refrigerators, etc.). The use of



freight electric trains solves the problem of stable and reliable power supply of refrigerated containers, specialized demountable bodies of tank cars that require energy to ensure operation of steam jackets, thermal electric heaters and coolers that ensure transportation of bulk cargo in proper condition over long distances. The use of electric freight trains is also possible for accelerated contrailer transportation, which will reduce specific CO₂ emissions and have a positive environmental effect. Biggest capacity for organizing piggyback transportation in Russia, in our opinion, belongs to the most loaded road transport routes, where a higher speed of passage of border crossings and delivery of goods by rail will be a factor for a significant reduction in logistics costs. These areas include Moscow–St. Petersburg–Finland, Moscow–Minsk–Brest–Warsaw, Moscow–Minsk–Vilnius–Kaliningrad.

Conclusions. The creation of modular freight electric multiple-unit trains within the framework of transport and production cooperation is possible for such industries as production and transportation of food products, technical liquids requiring special temperature conditions during storage and transportation, accelerated delivery of high-tech household and computer equipment, machinery and equipment, medicines, fashion items, other goods with high added value. Besides, the advantages of freight electric trains will manifest themselves at railway network segments with unstable freight traffic, on sections with a complex track profile, where forced stops and accelerations on steep ascents and descents are possible, where pushing and double traction are used.

Freight electric trains represent specialized rolling stock, and its implementation will not in the least cancel further development of locomotive-hauled trains, the main scope of which will still comprise transportation of bulk, raw materials. The need of the modern economy, compliance with the goals of reforming railway transport, the emergence of the institution of private specialized carriers will allow FEMUT to occupy a significant position on domestic, international and transit routes.

REFERENCES

1. The program of structural reform for railway transport. Approved by the Decree of the Government of the Russian Federation of May 18, 2001 No. 384 [Programma strukturnoi reform na zheleznodorozhnom transporte. Uverzhdena Postanovleniem Pravitelstva RF ot 18 maya 2001 goda № 384]. [Electronic resource]: https://base.garant.ru/183354/#block_1000. Last accessed 21.01.2020.
2. Guriev, A. I. Out of the dead end: the history of a reform [Iz tupika: istoriya odnoi reform]. St. Petersburg, RZD-Partner publ., 2008, 800 p.
3. Railway transportation: the largest companies [Zheleznodorozhnie perevozki – krupneishie kompanii]. [Electronic resource]: <https://www.oborudunion.ru/largest/jelezna-doroga-uslugi>. Last accessed 10.04.2020.
4. Zaitsev, A. A., Troitskiy, P. S. Freight Electric Multiple-Unit Trains as an Alternative to Locomotive Traction. Comparison and Analysis. *World of Transport and Transportation*, 2019, Vol. 17 (3), pp. 72–81. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-3-72-81>.
5. Troitskiy, P. S. Algorithm of selection of motor and trailed cars in a freight train of multiple-unit traction according to the criterion of energy efficiency [Algoritm podbora motornykh i pritsepnykh vagonov v gruzomov poezde motorvagonnoi tyagi po kriteriyu energeticheskoi effektivnosti]. *Transportnie sistemy i tekhnologii*, 2020, Vol. 6, Iss. 1, pp. 104–119. DOI: 10.17816/transsyst202061104-119.
6. Troitskiy, P. S. Substantiation of weight reduction of the platform car frame for container transportation in modular freight electric trains [Obosnovanie snizheniya massy ramy vagona-platformy dlya perevozki konteynerov v modulnykh gruzovykh elektropoezdakh]. *Transportnie sistemy i tekhnologii*, 2020, Vol. 6, Iss. 2, pp. 70–84. DOI: 10.17816/transsyst20206270-84.
7. Zaitsev, A. A., Troitskiy, P. S. Analysis of risk reduction in railway infrastructure when introducing motor-car freight electric trains [Analiz snizheniya riskov na zheleznodorozhnoi infrastrukture pri vnedrenii motorvagonnykh gruzovykh elektropoezdov]. *Izvestiya Peterburgskogo Universiteta Putei Soobshcheniya*, 2020, Vol. 17, Iss. 3, pp. 345–352. DOI: 10.20295/1815-588X-2020-3-345-352.
8. Zaitsev, A. A., Troitskiy, P. S. Choice of distributed traction for freight trains [Vybór raspredelennoi tyagi dlya gruzovykh poezdov]. *Proceedings of 6th International Scientific and Technical Conference «Locomotives. Electric transport. 21st century, November 13–15, 2018»*, Vol. 1, pp. 215–218. St. Petersburg, FGBOU VO PGUPS, 2018, 288 p.
9. Grebenyuk, P. T. Longitudinal dynamics of a train: Proceedings of VNIIZhT [Prodolnaya dinamika poezda: Trudy VNIIZhT]. Moscow, Intekst publ., 2003, 95 p.
10. Andryushchenko, A. A., Zarifyan, A. A. (Jr.), Kolpakchyan, P. G. Increasing the energy efficiency of passenger electric locomotives with asynchronous traction drive [Povyshenie energeticheskoi effektivnosti passazhirsikh elektrovozov s asinkhronnym tyagovym privodom]. *Izvestiya PGUPS*, 2015, Iss. 4, pp. 5–14.
11. Zarifyan, A. A. Estimates of useful work performed by a locomotive when pulling a train [Opredelenie poleznoi raboty, sovershaemoi lokomotivom pri tyage poezda]. *Bulletin of Rostov State Transport University*, 2018, Vol. 1 (69), pp. 40–49.
12. Zarifyan, A. A. (Jr.). Discrete-adaptive control of the traction drive of a freight electric locomotive when working with partial load [Diskretno-adaptivnoe upravlenie tyagovym privodom gruzovogo elektrovoz pri rabote s nepolnoi nagruzkoi]. *Bulletin of Rostov State Transport University*, 2018, Vol. 1 (69), pp. 49–58.
13. Titova, T. S., Evstafiev, A. M., Sychugov, A. N. Increasing the energy efficiency of alternating current electric rolling stock [Povyshenie energeticheskoi effektivnosti elektricheskogo podvizhnogo sostava peremennogo toka]. *Elektrotehnika*, 2017, Iss. 10, pp. 46–52.



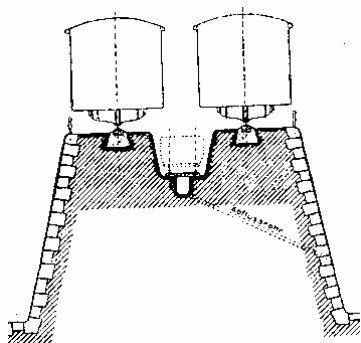
ГАЛЕРЕЯ ИМЁН 200

Э. Ленц. Заслуги не каждого учёного получают признание в виде названных его именем законов.



ГОРОДСКИЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ 211

*Проекты 1910 года:
спектр технических
и организационных решений.
Инновации тогда и сегодня.*



КОЛЕСО ИСТОРИИ • HISTORY WHEEL



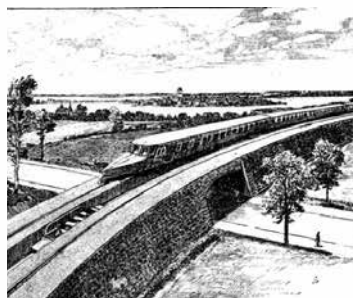
GALLERY OF NAMES 206

E. Lenz. His merits have been recognized by the laws that are named after him. It is not a common thing among the scientists.



URBAN TRANSPORTATION SYSTEMS 230

The 1910 projects: the range of technical and managerial solutions. Innovations then and now.





Эмилий Христианович Ленц (1804–1865)



Григорьев Николай Дмитриевич — кандидат технических наук, Москва, Россия.*

Николай ГРИГОРЬЕВ

Эмилий Ленц – знаменитый русский физик немецкого происхождения, академик, профессор Петербургского университета, а впоследствии его ректор, доктор филологии, тайный советник... Он участвовал в кругосветном путешествии Коцебу на шлюпе «Предприятие». Ленц известен своими фундаментальными работами по электромагнетизму и изучению теплового действия электрического тока.

Автор закона определения направления индукционного тока (Правило Ленца) и со-автор закона о тепловом воздействии электрического тока (закон Джоуля–Ленца), он провёл ряд значительных исследований по воздействию тока на разнородные проводники, разработал методы расчёта электромагнитов для построения электрических машин.

О его замечательных лекциях по физике и физической географии ходили легенды, они отличались удивительной ясностью и систематичностью.

На протяжении всей своей жизни Ленц занимался исследованиями в области физики. Вклад Ленца в науку сложно переоценить. Эмилий Христианович был исключительно разносторонним учёным. Он был автором учебников по физике для средней школы, работал над гальваническим золочением куполов Храма Спасителя в Москве, над проблемой освещения Невского проспекта в Петербурге. Ленц был физиком в самом широком смысле этого слова. Он никогда не замыкался на «чистой теоретической науке», всегда стремился на практике применить результаты своих открытий.

Ключевые слова: Ленц, история транспорта, закон Джоуля–Ленца, правило Ленца, закон Фарадея–Максвелла–Ленца, баллистический гальванометр, электромагнит, переменный ток.

*Информация об авторе:

Григорьев Николай Дмитриевич – кандидат технических наук, Москва, Россия, 9165688074@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 13.02.2019, принята к публикации 15.01.2020.

For the English text of the article please see p. 206.

29 января 1865 г., 155 лет назад, в Риме в возрасте 60 лет скоропостижно скончался российский учёный немецкого происхождения Эмилий Ленц — один из основоположников электротехники. Ленц — автор правила (1833), названного его именем, учёный экспериментально обосновавший закон Джоуля—Ленца (1842), создавший методы расчёта электромагнитов (совместно с Б. С. Якоби), открывший обратимость электрических машин. С его именем связано открытие закона, определяющего тепловые действия тока, и закона, определяющего направление индукционного тока.

Эмилий Ленц был профессором и ректором Императорского Санкт-Петербургского университета (1863–1865), действительным членом Русского географического общества с 19 сентября (1 октября) 1845 года.

Основоположник современного учения об электрических и магнитных явлениях Эмилий Христианович Ленц [1–10] родился 24 (12 по старому стилю) февраля 1804 г. в г. Дерпт (ныне Тарту, Эстония) в семье обер-секретаря (старшего чиновника) городского магистрата. В 1820 г. он в возрасте 16 лет окончил с отличием гимназию и поступил вначале на естественный факультет Дерптского (ныне Тартуского) университета. Затем по материальным соображениям юноша перевёлся на богословский факультет, но занятия по физике не прекратил. После второго курса студент Ленц участвовал в качестве физика для выполнения наблюдений на море и на суше в 1823–1826 годах в кругосветном путешествии в Атлантическом, Индийском и Тихом океанах на шлюпе «Предприятие» под командованием русского мореплавателя О. Е. Коцебу. Он при помощи сконструированных глубомера и батометра (прибора для взятия проб воды и измерения температур на разных глубинах) изучал физические свойства океанической воды, наблюдал и подробно описывал атмосферные явления и извержение вулканов, исследовал магнитное склонение, разработал циркуляционную теорию морских течений и впервые обозначил задачи физической географии как науки. Всё это послужило началом точных наблюдений в области



океанографии. Им было доказано наличие взаимосвязи между солёностью океанической воды, количеством солнечной радиации и силой ветра: наименее солёная вода на экваторе, так как там больше всего солнечного тепла, а воздух малоподвижен; в этих условиях в процессе испарения микрокапли остаются на поверхности океанической воды, создавая препятствие для воздействия Солнца. В 1827 г. Ленц по материалам океанографических научных исследований после их обработки методом наименьших квадратов и анализа защитил в Германии при Гейдельбергском университете диссертацию на степень доктора философии и переехал в Санкт-Петербург, где непродолжительное время преподавал в школе.

В 1828 г. в Санкт-Петербургскую Академию наук была представлена работа Ленца «О солёности и температурах воды океанов на разных глубинах», за которую его избрали адъюнктом (помощником профессора) Академии по физике. В 1829 г. Академия направила 25-летнего учёного для выполнения магнитных и гравитационных наблюдений в научную экспедицию на гору Эльбрус, где им была рассчитана её высота по показаниям барометра. Ленц организовал изучение магнитных явлений и качаний маятника в Николаевской обсерватории на Кавказе, наблюдал измене-





Императорский Санкт-Петербургский университет.

ния уровня Каспия, установив барометрическим способом, что его уровень на 30,5 м ниже, чем у Чёрного моря, исследовал выход на поверхность горючих газов в районе Баку, где недалеко от города собрал образцы нефти.

В 1830 г. Эмилий Ленц в возрасте 26 лет был избран экстраординарным (сверхштатным) академиком Санкт-Петербургской Академии Наук. В его ведение перешёл физический кабинет, собранный предшественником В. В. Петровым [11], в котором прошла вся последующая деятельность учёного.

В 1831 г. английский физик М. Фарадей открыл и описал явление «Магнитоэлектрической и вольтаэлектрической индукции», где он приводил различные правила для определения направления индуцированных токов. Ленц в 1833 г., изучив все работы в этой области, установил: *«возникающий в замкнутом контуре индукционный ток имеет такое направление, что созданный им поток магнитной индукции через площадь, ограниченную контуром, стремится компенсировать то изменение первоначального магнитного поля, вследствие которого происходит индукция»*. Это правило, названное его именем, является фундаментальным в теоретической электротехнике [12; 13] и оно вошло во все учебники по электротехнике [14; 15]. В последующем на основании этого правила были получены математические связи для мгновенных значений токов и электродвижущих сил. Немецкий физик Ф. Нейман в 1846 г. при выводе законов электромагнитной индукции воспользовался правилом Ленца. Немецкий физик Г. Л. Гельмгольц в 1847 г. в работе о сохранении энергии также сослался на это правило. Следовательно,

Ленц явился предшественником распространения закона сохранения энергии на область явлений электромагнитной индукции, т.е. обобщения величайшего физического открытия XIX века. В математической форме явление электромагнитной индукции дал в 1873 г. английский физик Д. К. Максвелл. В научной и учебной литературе в настоящее время количественный закон Фарадея—Максвелла—Ленца для мгновенного значения электродвижущей силы e записывается как $e = -d\psi/dt$ (электродвижущая сила пропорциональна скорости изменения магнитного потока ψ , то есть первой производной магнитного потока по времени $d\psi/dt$), где знак минус соответствует правилу Ленца.

Правило Ленца помогло решению задачи о точных измерениях магнитной напряжённости и намагничивания железа. Он был одним из первых авторов индукционных измерительных приборов [16; 17] и совместно с русским физиком и электротехником Б. С. Якоби предложил баллистический метод для измерения величины магнитного потока теми индукционными действиями, которые возникают при создании или исчезновении потока. Этот метод был единственным в те годы индикатором тока. Он лежит в основе современного баллистического гальванометра, применяющегося для измерения малых величин при кратковременных импульсах тока, в котором подвижная часть имеет относительно небольшой момент инерции, а результат отсчитывается по наибольшему отклонению указателя.

В формулировке правила Ленца заключена идея принципа эквивалентности (обратимости) электрических машин. Он показал, что магнитоэлектрическая индук-

ция Фарадея связана с электромагнитными силами французского учёного А. М. Ампера. «Положение, посредством которого магнитоэлектрическое явление сводится к электромагнитному, заключается в следующем: если металлический проводник движется поблизости от гальванического тока или магнита, то ток мог бы обусловить его перемещение в противоположную сторону; при этом предполагается, что покоящийся проводник может перемещаться в направлении движения или в противоположном направлении». В работе «О некоторых опытах из области гальванизма» принцип обратимости электрических машин им был сформулирован более чётко: *«Каждый электромагнитный опыт может быть обращён таким образом, что он приведёт к соответствующему магнитоэлектрическому опыту. Для этого нужно только сообщить проводнику гальванического тока каким-либо иным способом то движение, которое он совершает в случае электромагнитного опыта, и тогда в нём возникает ток направления, противоположного направлению тока в электромагнитном опыте»*. Из правила Ленца следует, что, пропуская в подвижных катушках, расположенных между полюсами магнитов, тока, можно добиться их вращения. Наоборот, если в подвижные катушки ток не пускать, а вращать их между полюсами магнита за счёт посторонней силы, то в них возникает индуцированная электродвижущая сила. Следовательно, он первым пришёл к выводу об одинаковом устройстве и обратимости электрических машин, экспериментально превратив генератор в двигатель. У современных коллекторных электрических машин имеются конструктивные различия генераторов и двигателей из-за особенностей их коммутации [18; 19].

Уже через четыре года, в 1834 г., Ленц был избран ординарным (штатным) академиком Санкт-Петербургской АН по физике. Он выполнял также педагогическую работу в Морском кадетском корпусе, в Артиллерийской академии, в Главном педагогическом институте, а в 1835 г. был приглашён на должность ординарного профессора кафедры физики (отделённой от химии) Санкт-Петербургского университета, в 1836 г. возглавил кафедру физики и физической географии. В 1840 г. его из-

брали деканом на втором отделении философского факультета, где он пребывал бессменно на этой должности до избрания ректором университета в 1863 г. Им были написаны многочисленные учебники и пособия по физике, а руководство к физике, составленное для русских гимназий и опубликованное в 1839 г., выдержало 11 изданий.

Английский физик Уильям Стёрджен (В. Стэджен) в 1825 г. изобрёл электромагнит. В то время отсутствовали данные по магнитным свойствам железа. Только в совместных работах Ленца с Борисом Якоби «О законах электромагнитов», «О притяжении электромагнитов» и «О влиянии силы тока на интенсивность возбуждаемых в железе магнетизма» были даны методы расчёта электромагнитов в электрических машинах, которые применялись до установления законов магнитной цепи. В них была установлена пропорциональность действия электромагнита силе тока и числу витков катушки (по современной терминологии числу ампер-витков) [20].

В 1841 г. другой английский физик Джеймс Прескотт Джоуль (Джол) опубликовал работу «О теплоте, выделяемой токами», но в Лондонском Королевском обществе (научное общество Великобритании) она встретила некоторые обоснованные возражения, и от него потребовали дополнительных экспериментальных уточнений. Ленц исследовал тангенс-буссоли (прибор для измерения тока, изобретённый И. Нернандером), проверил справедливость и обосновал современникам закон немецкого физика Г. С. Ома и исследовал нагревательное действие токов, результаты которых доложил в Санкт-Петербургской Академии Наук в 1842 г. («О законах выделения тепла гальваническим током») и в 1843 г. («О выделении тепла в проволоках»). В этих сообщениях им точными и экспериментальными данными были доказаны зависимости сопротивления металлов от температуры и основные положения теплового действия тока, названного законом Джоуля–Ленца: выделяемое током тепло пропорционально сопротивлению проводника, квадрату силы тока, времени и не зависит от каких-либо других его свойств. Это явилось одной из предпосылок установления закона сохра-



нения и превращения энергии. В настоящее время на законе Джоуля—Ленца основан расчёт нагревательных электроприборов, выбор сечений воздушных проводов и жил кабельных линий электропередачи, плавких вставок предохранителей и тепловых расцепителей устройств защиты электроустановок от перегрузки и аварийных режимов короткого замыкания [21; 22].

В 1844 г. Ленц вывел формулу для определения тока в любой из параллельно соединённых ветвей, содержащих источники электродвижущих сил, явившуюся предшественницей двух законов для разветвлённых электрических цепей, открытых в 1847 г. немецким учёным Г. Р. Кирхгофом [12–15].

В 1845 г. Ленц стал Действительным членом Русского географического общества, был избран в Совет и до конца жизни выполнял в нём большую разностороннюю работу. В 1851 г. он опубликовал свой фундаментальный труд «Физическая география», который неоднократно переиздавался в России и за рубежом. В нём им были рассмотрены строение земной коры, происхождение и непрерывное перемещение образующих её пород, влияющее на рельеф материков. Были отмечены три фактора, вызывающих непрерывное изменение поверхности суши: вулканические силы, влияние вод при содействии атмосферы и органические существа, и указаны закономерности суточного и годового хода температуры и давления воздуха, ветровой деятельности, испарения воды, конденсации водяного пара и образования облаков, электрических и оптических явлений в атмосфере. Было объяснено происхождение голубого цвета неба, радуги, кругов около Солнца и Луны. Учёный установил причину небольшого повышения температуры воды с глубиной в зоне к югу от 51 градуса южной широты и отметил, что подобная инверсия должна иметь место и в Северном Ледовитом океане. Тем самым он предвосхитил открытие норвежского исследователя Арктики Ф. Нансена, обнаружившего во время экспедиции в 1893–1896 годах тёплые атлантические воды в глубинных слоях Арктического бассейна. Им также было установлено, что солёность воды в океане мало изменяется с глубиной, а в верхнем слое уменьшается с широтой.

Однако наибольшая солёность наблюдается не в экваториальной зоне, а в районах близ тропиков вследствие сильного испарения. Плотность воды возрастает с широтой и с глубиной из-за уменьшения температуры воды в этих направлениях. Поэтому, по мнению Ленца, в Мировом океане наряду с течениями, вызываемыми ветром и наклоном уровня поверхности дна, должно существовать общее и не менее сильное движение поверхностных вод из тропической зоны в области высоких широт и движение глубинных вод из этих областей в тропическую зону. Такая циркуляция, существование которой было подтверждено последующими наблюдениями, представляет собой одну из важнейших причин водообмена между низкими и высокими широтами. Она и обуславливает поступление холодных вод из Индийского, Атлантического, Тихого и Северного Ледовитого океанов в глубинные слои умеренных и низких широт. Ленц привёл методические указания для определения скоростей течений навигационным способом и высказал мысль о том, что орбиты частиц в ветровых ваннах представляют собой эллипсы. По его предположению главной причиной процессов, происходящих в атмосфере Земли, является солнечная радиация, наибольшая часть энергии которой поглощается океанами, огромными резервуарами влаги и тепла. Она расходуется в основном на испарение воды, вызывая её кругообращение в природе и формируя климат на Земле. Ленц явился основоположником учения о взаимодействии океанов с атмосферой, а его труд «Физическая география», содержащий точные и достоверные океанографические наблюдения, имел большое значение для развития наук о Земле.

В 1846 г. немецкий физик В. Э. Вебер опытным путём установил, что вопреки закону электромагнитной индукции Фарадея электродвижущая сила электрических генераторов при подключении внешней электрической цепи не пропорциональна скорости вращения его вала. Вебер объяснял это тем, что железо магнитной цепи генератора не успевает принять полного намагничивания при быстром изменении электрического поля. Ленц на магнито-электрическом генераторе постоянного

тока собрал большой экспериментальный материал. По работе «О влиянии скорости вращения на индукционный ток, производимый магнитоэлектрическими машинами» он сделал в Санкт-Петербургской АН три сообщения: в 1847, 1853 и 1857 годах. Им было выдвинуто собственное объяснение уменьшению электродвижущей силы, которое в настоящее время называется реакцией якоря при протекании в нём электрического тока. Необходимо учитывать не только токи, индуцируемые во вращающемся якоре электрической машины магнитным полем полюсов, но и токи от самоиндукции в обмотке якоря. Его предложение смещения щёток на некоторый угол относительно нейтральной геометрической линии коллектора с целью ликвидации искрения применяется до сих пор в электрических машинах (генераторах и двигателях) постоянного тока при наличии дополнительных полюсов номинальной мощностью до 300 Вт, а при их отсутствии — мощностью до 1 кВт [23; 24].

В 1853 г. Ленц впервые установил смещение фазы переменного тока относительно фазы синусоидального напряжения, и в 1857 г. он придумал коммутатор, т.е. изобрёл прибор для изучения формы кривой индуктированного переменного тока. Им было определено условие режима полезной максимальной мощности источника электрической энергии, когда внутреннее сопротивление источника и внешней цепи равны между собой. Это условие режима в настоящее время применяется в маломощных электронных устройствах телемеханики, связи, автоматики и управления.

Эмилий Христианович Ленц скоропостижно скончался во время заграничного отпуска и лечения зрения в Риме 10 февраля (29 января по старому стилю) 1865 г. в возрасте 60 лет. Похоронили его в Риме на протестантском кладбище. Им были установлены правило Ленца и закон Джоуля—Ленца, подтверждён закон Ома и ему впервые в электротехнике удалось установить связь между электромагнитными и электродинамическими явлениями [25]. За свои научные труды в области электротехники и геофизики он был избран членом-корреспондентом Академии наук в Турине и в Берлинской академии наук.

Эмилий Ленц всю жизнь прожил в Российской империи, но он так и не выучил русский язык, что ему не помешало стать основателем отечественной школы электротехники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ленц Эмилий Христианович // Новая Российская энциклопедия / Гл. редактор А. Д. Некипелов. — Т. IX (2). — М.: Энциклопедия, 2013. — С. 246–247.
2. Ленц Эмилий Христианович // Советская энциклопедия / Гл. редактор А. М. Прохоров. — Т. 14. — М.: Советская энциклопедия, 1973. — С. 335–336.
3. Ленц Эмилий Христианович // Большая Советская энциклопедия / Гл. редактор Б. А. Введенский. — Т. 24. — М.: Большая Советская энциклопедия, 1953. — С. 570–571.
4. Ленц Эмилий Христианович // Советский энциклопедический справочник / Гл. редактор А. М. Прохоров. — М.: Советская энциклопедия, 1985. — С. 701.
5. Шателен М. А. Русские электротехники второй половины XIX века. — М.-Л.: Государственное энергетическое издательство, 1949. — 379 с.
6. Шателен М. А. Русские электротехники XIX века. — М.: Госэнергоиздат, 1955. — 432 с.
7. Веселовский О. Н., Шнайберг Я. А. Очерки по истории электротехники. — М.: Издательство МЭИ, 1993. — 252 с.
8. Самин Д. К. 100 великих учёных. — М.: Вече, 2000. — 592 с.
9. Истомин С. В. Самые знаменитые изобретатели России. — М.: Вече, 2000. — 469 с.
10. Ржонсницкий Б. Н., Розен Б. Я. Эмилий Христианович Ленц. — М.: Мысль, 1987. — 136 с.
11. Григорьев Н. Д. Пророк в своём отечестве // Мир транспорта. — 2018. — № 3. — С. 236–248.
12. Основы теории цепей. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 528 с.
13. Буртаев Ю. В., Овсянников П. Н. Теоретические основы электротехники. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 552 с.
14. Касаткин А. С., Немцов М. В. Электротехника. — М.: Высшая школа, 2000. — 542 с.
15. Электротехника и электроника / Под ред. В. В. Кононенко. — Ростов-на-Дону, 2004. — 752 с.
16. Электрические измерения / Под ред. А. В. Фремке. — Л.: Энергия, 1973. — 424 с.
17. Электрические измерения / Под ред. Е. Г. Шрамкова. — М.: Высшая школа, 1972. — 518 с.
18. Алексеев А. С. Конструкция электрических машин. — М.-Л.: Госэнергоиздат, 1958. — 428 с.
19. Вольдек А. И. Электрические машины. — Л.: Энергия, 1974. — 840 с.
20. Григорьев Н. Д. Умножение движущих сил // Мир транспорта. — 2014. — № 3. — С. 238–245.
21. Цигельман И. Е. Электроснабжение гражданских зданий и коммунальных предприятий. — М.: Высшая школа, 1982. — 368 с.
22. Григорьев Н. Д. Выбор проводников по нагреву. — М.: Типография МИИТ, 2005. — 59 с.
23. Петров Г. Н. Электрические машины. — Ч. 3. Коллекторные машины постоянного и переменного тока. — М.: Энергия, 1968. — 224 с.
24. Брускин Д. Э., Зорохович А. Я., Хвостов В. С. Электрические машины и микромашины. — М.: Высшая школа, 1971. — 432 с.
25. Рассказы из истории русской науки и техники. — М.: Молодая гвардия, 1957. — 125 с.





Emilius Lenz (1804–1865)



Grigoriev, Nikolay D., Ph.D. (Eng), Moscow, Russia.*

Nikolay D. GRIGORIEV

ABSTRACT

Emilius Lenz is a famous Russian physicist of German origin, academician, professor at St. Petersburg University, and later its rector, doctor of philology, privy councilor ... He took part in Kotzebue's trip around the world on the sailing sloop Enterprise. Lenz is known for his fundamental work on electromagnetism and the study of the thermal effect of electric current.

The author of the law stating the direction of induced current (Lenz's law) and co-author of the law on the thermal effect of electric current (Joule–Lenz law). He carried out several significant studies on the effect of current on dissimilar conductors, developed methods for calculating electromagnets for building electrical machines.

Legends circulated about his wonderful lectures on physics and physical geography, they were remarkable for their amazing clarity and systematicity.

Throughout his life, Lenz was engaged in research in the field of physics. Lenz's contribution to science can hardly be overestimated. Emilius Lenz was an exceptionally versatile scientist. He was the author of textbooks on physics for high school, worked on the galvanic gilding of the domes of the Cathedral of Christ the Saviour in Moscow, on the problem of lighting Nevsky Prospekt in St. Petersburg. Lenz was a physicist in the broadest sense of the word. He never closed himself on «pure theoretical science», always tried to apply the results of his discoveries in practice.

Keywords: *Lenz, history of transport, Joule–Lenz law, Lenz's law, Faraday–Maxwell–Lenz law, ballistic galvanometer, electromagnet, alternating current.*

*Information about the author:

Grigoriev, Nikolay D. – Ph.D. (Eng), Moscow, Russia, 9165688074@yandex.ru.

Article received 13.02.2019, accepted 15.01.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 200.

On January 29, 1865, 155 years ago, at the age of 60, in Rome a Russian scientist of German origin Emilius Lenz, one of the founders of electrical engineering, died suddenly. Lenz is the author of the law (1833) named after him, a scientist who experimentally substantiated the Joule–Lenz law (1842), who created methods for calculating electromagnets (together with B.S. Jacobi), who discovered reversibility of electrical machines. His name is associated with the discovery of the law that determines thermal effects of the current, and the law that determines direction of the induced current.

Emilius Lenz was a professor and rector of the Imperial St. Petersburg University (1863–1865), a full member of the Russian Geographical Society since September 19 (October 1) 1845.

The founder of the modern doctrine of electrical and magnetic phenomena Emilius Christianovich Lenz [1–10] was born on February 24 (12 according to the old style), 1804 in the city of Dorpat (now Tartu, Estonia) in the family of the chief secretary (senior official) of the city magistrate. In 1820, at the age of 16, he graduated from the gymnasium with honours and first entered the Faculty of Science at the University of Dorpat (now Tartu). Then, for material reasons, the young man transferred to the theological faculty, but did not stop his physics studies. After the second year of his studies, student Lenz participated as a physicist in conducting the observations at sea and on land in 1823–1826 during a round-the-world voyage in the Atlantic, Indian and Pacific oceans on the sailing sloop Enterprise under the command of the Russian navigator Otto E. Kotsebue. With the help of a constructed depth gauge and a bathometer (a device for taking water samples and measuring temperatures at different depths), he studied physical properties of ocean water, observed, and described in detail atmospheric phenomena and volcanic eruptions, investigated magnetic declination, developed the circulation theory of sea currents and for the first time outlined the problems of physical geography as a science. All this was the beginning of accurate observations in the field of oceanography. He proved the existence of a relationship between salinity of ocean water, the amount of solar radiation and wind strength: the least salty water is at the equator, since there is the most solar heat, and the air is inactive; under these conditions, during the evaporation process, microdroplets remain on the surface of ocean water, creating an obstacle to the action of the sun.

In 1827, Lenz defended his Ph.D. thesis in Germany at the University of Heidelberg, based on the materials of oceanographic scientific research, after their processing by the least squares' method and analysis, and moved to St. Petersburg, where he taught at school for a short time.

In 1828, Lenz's work «On salinity and temperatures of ocean water at different depths» was presented to St. Petersburg Academy of Sciences, in recognition of that he was elected an associate (assistant professor) of the Academy in physics. In 1829, the Academy sent a 25-year-old scientist to perform magnetic and gravitational observations on a scientific expedition to Mount Elbrus, where he calculated its height according to the readings of a barometer. Lenz organized the study of magnetic phenomena and pendulum swings at Nikolaev Observatory in the Caucasus, observed changes in the level of the Caspian Sea, establishing by a barometric method that its level was 30,5 m lower than that of the Black Sea, investigated the release of flammable gases to the surface in the Baku region, where he also collected oil samples.

In 1830 Emilius Lenz at the age of 26 was elected an extraordinary (supernumerary) academician of St. Petersburg Academy of Sciences. He was in charge of the physics «cabinet» (laboratory), arranged by V. V. Petrov, his predecessor [11], in which all subsequent activities of the scientist took place.

In 1831, the English physicist M. Faraday discovered and described the phenomenon of «*Magnetolectric and voltaelectric inductions*», where he gave various rules for determining the direction of induced currents. Lenz in 1833, having studied all the works in this area, established: «*the induced current arising in a closed loop has such a direction that the flux of magnetic induction created by it through the area bounded by the loop tends to compensate for the change in the initial magnetic field due to which induction occurs*». This law, named after him, is fundamental in theoretical electrical engineering [12; 13] and it was included in all textbooks on electrical engineering [14; 15]. Subsequently, based on this law, mathematical relationships were obtained for the instantaneous values of currents and electromotive forces. In 1846 the German physicist F. Neumann used Lenz's law to derive the laws of electromagnetic induction. The German physicist G. L. Helmholtz in 1847, in his work on conservation of energy, also referred to this law. Consequently, Lenz was the predecessor of extension of the law of conservation of energy



to the field of electromagnetic induction phenomena, i.e. generalization of the greatest physical discovery of 19th century. In a mathematical form, the phenomenon of electromagnetic induction was given in 1873 by the English physicist D. C. Maxwell. In the scientific and educational literature, at present, the quantitative Faraday–Maxwell–Lenz law for the instantaneous value of the electromotive force e is written as $e = -d\psi/dt$ (the electromotive force is proportional to the rate of change of the magnetic flux ψ , that is, the first derivative of the magnetic flux $d\psi/dt$), where the minus sign corresponds to Lenz's law.

Lenz's law helped solving the problem of accurate measurements of magnetic strength and magnetization of iron. He was one of the first authors of induction measuring instruments [16; 17], and together with the Russian physicist and electrical engineer B. S. Jacobi proposed a ballistic method for measuring the magnitude of the magnetic flux by those inductive actions that arise when the flux is created or disappeared. This method was the only current indicator in those years. It forms the basis of the modern ballistic galvanometer, used to measure small values at short-term current pulses, in which the moving part has a relatively small moment of inertia, and the result is counted by the largest deflection of the pointer.

The formulation of Lenz's law contains the idea of the principle of equivalence (reversibility) of electrical machines. He showed that Faraday's magnetoelectric induction is associated with the electromagnetic forces of the French scientist A.M. Ampère. *«The position by which a magnetoelectric phenomenon is reduced to an electromagnetic one is as follows: if a metal conductor moves near a galvanic current or magnet, then the current could cause its movement in the opposite direction; it is assumed that the stationary conductor can move in the direction of motion or in the opposite direction»*. In his work *«On some experiments in the field of galvanism»* the principle of reversibility of electric machines was formulated by him more clearly: *«Every electromagnetic experiment can be reversed in such a way that it will lead to a corresponding magnetoelectric experience. For this, it is only necessary to give the conductor of the galvanic current in some other way the movement that it makes in case of an electromagnetic experiment, and then a current of the direction opposite to the direction of the current in the electromagnetic experiment appears in it»*. It follows from Lenz's law that by passing currents in moving coils located

between the poles of magnets, currents can be made to rotate. On the contrary, if no current is allowed into moving coils, but they will be rotated between the poles of the magnet due to an external force, then an induced electromotive force arises in them. Consequently, he was the first to come to the conclusion about the same structure and reversibility of electric machines, experimentally turning a generator into a motor. Modern collector electric machines have structural differences between generators and motors due to the peculiarities of their commutation [18; 19].

Four years later, in 1834, Lenz was elected an ordinary (full-time) academician of St. Petersburg Academy of Sciences in physics. He also performed pedagogical work at the Naval Cadet Corps, at the Artillery Academy, at the Main Pedagogical Institute, and in 1835 he was invited to the post of ordinary professor of the Department of Physics (separated from chemistry) at St. Petersburg University, in 1836 he headed the Department of Physics and physical geography. In 1840 he was elected dean of the second department of the Faculty of Philosophy, where he held this position permanently until his election as rector of the university in 1863. He wrote numerous textbooks and manuals on physics, and a manual on physics, compiled for Russian gymnasiums and published in 1839, withstood 11 editions.

The English physicist William Sturgeon invented the electromagnet in 1825. At that time, there were no data on magnetic properties of iron. Only in the joint works of Lenz with Boris Jacobi *«On the laws of electromagnets»*, *«On attraction of electromagnets»* and *«On the influence of current on intensity of magnetism excited in iron»* were given methods for calculating electromagnets in electric machines, which were used before the laws of the magnetic circuit were established. In them, proportionality of action of the electromagnet to the current strength and the number of turns of the coil (in modern terminology, the number of ampere-turns) was established [20].

In 1841, another English physicist James Prescott Joule (Jule) published his work *«On the heat given off by currents»*, but in the Royal Society of London (the scientific society of Great Britain), it faced some justified objections and the members demanded additional experimental clarifications from him. Lenz investigated the tangent-compass (a device for measuring current invented by Johan Jakob Nervander, checked validity and substantiated to his contemporaries the law of the German physicist G. S. Ohm and investigated the

heating effect of currents, the results of which he communicated to St. Petersburg Academy of Sciences in his reports in 1842 («On the laws of release of heat by galvanic current») and in 1843 («On release of heat in wires»). In these reports, he proved the dependence of resistance of metals on temperature and the main provisions of the thermal action of current, called the Joule–Lenz law, with accurate and experimental data: the heat released by the current is proportional to resistance of the conductor, the square of the current strength, time and does not depend on any of its other properties. This was one of the prerequisites for establishing the law of conservation and transformation of energy. Currently, the Joule–Lenz law is based on calculation of electrical heating devices, the choice of cross-sections of overhead wires and cores of cable power lines, fuse-links, and thermal releases of devices for protecting electrical installations from overload and emergency modes of short circuit [21; 22].

In 1844 Lenz derived a formula for determining the current in any of the parallel-connected branches containing sources of electromotive forces, which was the predecessor of two laws for branched electric circuits, discovered in 1847 by the German scientist G. R. Kirchhoff [12–15].

In 1845 Lenz became a Full Member of the Russian Geographical Society, was elected to the Council, and until the end of his life he performed a great and versatile work in it. In 1851 he published his fundamental work «Physical Geography», which was reprinted several times in Russia and abroad. In it, he examined the structure of the earth's crust, the origin and continuous movement of the rocks that form it, and which affects the relief of the continents. Three factors were noted that cause a continuous change in the land surface: volcanic forces, the influence of waters assisted by the atmosphere and organic creatures, and the patterns of daily and annual variations in air temperature and pressure, wind activity, water evaporation, condensation of water vapour and the formation of clouds, electrical and optical phenomena in the atmosphere. The origin of the blue colour of the sky, rainbow, circles around the Sun and Moon was explained. The scientist found the reason for the slight increase in water temperature with depth in the zone south of 51 degrees south latitude and noted that a similar inversion should take place in the Arctic Ocean. Thus, he anticipated the discovery of the Norwegian Arctic explorer F. Nansen, who discovered warm Atlantic waters in the deep layers of the Arctic basin

during his expedition in 1893–1896. He also found that salinity of water in the ocean changes little with depth, and in the upper layer decreases with latitude. However, the highest salinity is observed not in the equatorial zone, but in areas near the tropics due to strong evaporation. The density of water increases with latitude and depth due to a decrease in water temperature in these directions. Therefore, according to Lenz, in the World Ocean, along with currents caused by wind and the slope of the bottom surface level, there should be a general and no less strong movement of surface water from the tropical zone to high latitudes and movement of deep waters from these areas to the tropical zone. This circulation, the existence of which has been confirmed by subsequent observations, is one of the most important causes of water exchange between low and high latitudes. It also determines the flow of cold waters from the Indian, Atlantic, Pacific, and Arctic oceans into the deep layers of temperate and low latitudes. Lenz gave methodological instructions for determining velocities of currents in a navigational way and suggested that the orbits of particles in wind baths are ellipses. According to his position, the main reason for the processes taking place in the Earth's atmosphere is solar radiation, the largest part of which is absorbed by the oceans, huge reservoirs of moisture and heat. It is spent mainly on evaporation of water, causing its circulation in nature, and forming the climate on Earth. Lenz was the founder of the theory of interaction of the oceans with the atmosphere, and his work «Physical Geography», containing accurate and reliable oceanographic observations, was of great importance in development of earth sciences.

In 1846, the German physicist W. E. Weber experimentally established that, contrary to Faraday's law of electromagnetic induction, the electromotive force of electric generators when connected to an external electrical circuit is not proportional to speed of rotation of its shaft. Weber explained this by the fact that iron of the generator's magnetic circuit does not have time to accept full magnetization when the electric field changes rapidly. Lenz collected a large amount of experimental material on a magnetoelectric DC generator. He made three reports in the St. Petersburg Academy of Sciences on the work «On the influence of speed of rotation on the induction current produced by magnetoelectric machines»: in 1847, 1853 and 1857. He put forward his own explanation



for decrease in the electromotive force, which is currently called the reaction of the armature when an electric current flows through it. It is necessary to consider not only the currents induced in the rotating armature of an electric machine by the magnetic field of the poles, but also currents from self-induction in the armature winding. His proposal to displace the brushes by a certain angle relative to the neutral geometric line of the collector in order to eliminate sparking is still used in electric machines (generators and motors) of direct current in the presence of additional poles with a rated power of up to 300 W, and in their absence – with a power of up to 1 kW [23; 24].

In 1853 Lenz first established the phase shift of an alternating current relative to the phase of a sinusoidal voltage, and in 1857 he invented a switch, i.e., invented a device for studying the shape of the curve of the induced alternating current. He determined the condition for the maximum useful power of the source of electrical energy when the internal resistance of the source and the external circuit are equal to each other. This condition of the mode is currently used in low-power electronic devices for telemechanics, communications, automation, and control.

Emilius Christianovich Lenz died suddenly during an overseas vacation and vision therapy in Rome on February 10 (January 29, old style) 1865 at the age of 60. He was buried in Rome at a Protestant cemetery. He established the Lenz law and the Joule–Lenz law, confirmed Ohm's law and for the first time in electrical engineering he managed to establish a connection between electromagnetic and electrodynamic phenomena [25]. For his scientific work in the field of electrical engineering and geophysics, he was elected a corresponding member of the Academy of Sciences in Turin and of the Berlin Academy of Sciences.

Emilius Lenz lived all his life in the Russian Empire, but he never learned Russian, which did not prevent him from becoming the founder of the national school of electrical engineering.

REFERENCES

1. Lenz Emilius Christianovich. In: New Russian Encyclopedia. Ch. Ed. A. D. Nekipelov. Vol. IX (2), Moscow, Encyclopedia, 2013, pp. 246–247.
2. Lenz Emilius Christianovich. In: Soviet encyclopedia. Ch. Ed. A. M. Prokhorov. Vol. 14, Moscow, Soviet encyclopedia, 1973, pp. 335–336.
3. Lenz Emilius Christianovich. In: Great Soviet Encyclopedia. Ch. Ed. B. A. Vvedensky. Vol. 24, Moscow, Great Soviet Encyclopedia, 1953, pp. 570–571.
4. Lenz Emilius Christianovich. In: Soviet encyclopedic reference book. Ch. Ed. A. M. Prokhorov. Moscow, Soviet encyclopedia, 1985, p. 701.
5. Shatelen, M. A. Russian electrical engineers of the second half of 19th century [*Russkie elektrotehniki vtoroi poloviny XIX veka*]. Moscow–Leningrad, State energy publishing house, 1949, 379 p.
6. Shatelen, M. A. Russian electrical engineers of 19th century [*Russkie elektrotehniki XIX veka*]. Moscow, Gosenergoizdat publ., 1955, 432 p.
7. Veselovsky, O. N., Shneiberg, Ya. A. Essays on the history of electrical engineering [*Ocherki po istorii elektrotehniki*]. Moscow, Publishing house of MEI, 1993, 252 p.
8. Samin, D. K. 100 great scientists [*100 velikikh uchenykh*]. Moscow, Veche publ., 2000, 592 p.
9. Istomin, S. V. The most famous inventors of Russia [*Samie znamenitye izobretateli Rossii*]. Moscow, Veche publ., 2000, 469 p.
10. Rzhonsnitsky, B. N., Rosen, B. Ya. Emilius Christianovich Lenz. Moscow, Mysl publ., 1987, 136 p.
11. Grigoriev, N. D. The prophet in his homeland. *World of Transport and Transportation*, Vol. 16, 2018, Iss. 3, pp. 236–248.
12. Fundamentals of circuit theory [*Osnovy teorii tsepei*]. Moscow, Energoatomizdat publ., 1985, 528 p.
13. Burtaev, Yu. V., Ovsyannikov, P. N. Theoretical foundations of electrical engineering [*Teoreticheskie osnovy elektrotehniki*]. Moscow, Energoatomizdat publ., 1984, 552 p.
14. Kasatkin, A. S., Nemtsov, M. V. Electrical engineering [*Elektrotehnika*]. Moscow, Vysshaya shkola publ., 2000, 542 p.
15. Electrical engineering and electronics [*Elektrotehnika i elektronika*] / Ed. V. V. Kononenko. Rostov-on-Don, 2004, 752 p.
16. Electrical measurements [*Elektricheskie izmereniya*] / Ed. by A. V. Fremke. Leningrad, Energia publ., 1973, 424 p.
17. Electrical measurements [*Elektricheskie izmereniya*] / Ed. by E. G. Shramkov. Moscow, Vysshaya shkola publ., 1972, 518 p.
18. Alekseev, A. S. Design of electrical machines [*Konstruktsiya elektricheskikh mashin*]. Moscow–Leningrad, Gosenergoizdat publ., 1958, 428 p.
19. Voldek, A. I. Electric machines [*Elektricheskie mashiny*]. Leningrad, Energia publ., 1974, 840 p.
20. Grigoriev, N. D. Multiplication of driving forces. *World of Transport and Transportation*, Vol. 12, 2014, Iss. 3, pp. 238–245.
21. Tsigelman, I. E. Power supply of civil buildings and communal enterprises [*Elektrosnabzhenie grazhdanskikh zdaniy i kommunalnykh predpriyatii*]. Moscow, Vysshaya shkola publ., 1982, 368 p.
22. Grigoriev, N. D. Selection of conductors for heating [*Vybor provodnikov po nagrevu*]. Moscow, MIIT Printing house, 2005, 59 p.
23. Petrov, G. N. Electrical machines. Part 3. Collector machines of direct and alternating current [*Elektricheskie mashiny. Ch. 3. Kollektornye mashiny postoyannogo i peremennogo toka*]. Moscow, Energia publ., 1968, 224 p.
24. Bruskin, D. E., Zorokhov, A. Ya., Khvostov, V. S. Electric machines and micromachines [*Elektricheskie mashiny i mikromashiny*]. Moscow, Vysshaya shkola publ., 1971, 432 p.
25. Stories from the history of Russian science and technology [*Rasskazy iz istorii russkoi nauki i tekhniki*]. Moscow, Molodaya gvardiya publ., 1957, 125 p.



Представляем достаточно подробную статью 1910 года, описывающую инженерные проекты, не только разрабатывавшиеся, но широко обсуждавшиеся, касавшиеся устройства не просто скоростных, а высокоскоростных внутригородских дорог в Берлине.

Инженерам тех лет был присущ широкий взгляд. В одном проекте пытались вместить все передовые разработки и перспективные идеи того времени как технического плана, так и в части оптимальной транспортной модели, маршрутизации, организации движения, планирования городского пространства. Обсуждали радиально-кольцевую систему, встраивание городской системы в национальную и даже мировую транспортную систему, раздельное пассажирское и грузовое движение, а технические решения напомнили о современном монорельсе, эстакадном движении и лёгком метро и даже об индивидуальном скоростном рельсовом транспорте (personal rapid transit)... Статья привлекла большое внимание не только в Германии, недаром в России её перепечатало издание «Железнодорожное дело». Надеемся, что и сейчас многие её аспекты представляют интерес, причём не только исторического плана.

Ключевые слова: история транспорта, пассажирское сообщение, городской рельсовый транспорт, А. Шерль, эстакады, монорельс.

For the English text of the article please see p. 230.

Редакция выражает признательность сотрудникам библиотеки Российского университета транспорта за помощь в подготовке материала.

НОВАЯ СИСТЕМА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ С БОЛЬШОЙ СКОРОСТЬЮ, ПРЕДЛОЖЕННАЯ АВГУСТОМ ШЕРЛЬ (ПРОЕКТ УЛУЧШЕНИЯ ПАССАЖИРСКОГО ДВИЖЕНИЯ)

ЧАСТЬ 1.

В прошлом году в берлинской газете «Тэг» было помещено изложенное вкратце содержание только что появившейся в печати заметки издателя газеты А. Шерля (A. Scherl) о предлагаемой им системе быстрого пассажирского движения. Из полученных затем редакцией от подписчиков газеты многочисленных писем выяснилось, что вопрос об улучшении пассажирского сообщения в Берлине чрезвычайно интересует жителей этого города и, поэтому, идя навстречу желаниям своих подписчиков, редакция дала в особом приложении к газете более подробное описание этой системы, иллюстрированное рисунками и чертежами.

Ни в каком другом городе в такой степени, как в Берлине, не ощущается насущной необходимости в устройстве особенно быстрого

пассажирского сообщения как внутри города, так и для переезда из него в другие пункты, при условии гигиеничности и соответствующего современным требованиям удобства сообщения; эта необходимость обуславливается, с одной стороны, быстрым ростом населения города и всё увеличивающимся уличным движением, а с другой стороны — особою склонностью к передвижениям самих жителей. Таким образом, появилась сначала Stadtbahn, которая, несомненно, способствовала быстрому развитию Берлина; затем была построена Hochbahn, которая, как с ужасом думали сначала, совершенно обезобразит вид городских улиц, между тем как на самом деле она положила начало для целого ряда новых проектов пассажирского движения. Долго ломали голову над упорядочением массового движения на



Потсдамской площади и в других пунктах и в результате ограничились лишь некоторыми поправками; шли бесконечные споры о том, строить ли сквозную подземную дорогу, или же надземную, с соединением её с уличными электрическими дорогами.

Выполнение идеи Августа Шерля об одно-рельсовой железной дороге большой скорости с её центральным вокзалом и расходящимися в виде лучей линиями, — дороге, которая будет проходить ни под землёй, ни над улицами, а над домами Берлина, — окончательно разрешит все потребности сообщения в этом мировом городе. Может быть, возразят, что ведь этот проект принадлежит человеку недостаточно сведущему, но такое возражение было бы совершенно неосновательно. Прежде всего, следует заметить, что его проект был подвергнут серьёзному рассмотрению специалистами-техниками; затем нельзя упускать из виду, что часто успехами в области цивилизации мер бывает обязан именно простому, но верному чутью как раз таких не-техников; наконец, в этом проекте важное значение имеет то, что автором его является лицо с таким разносторонним образованием, как Август Шерль.

Все приведённые соображения побудили редакцию газеты «Tag» с полной готовностью удовлетворить интересу берлинского населения к проекту Шерля и дать более подробное описание устройства нового сообщения большой скорости и его оригинальной организации, к изложению которого мы теперь и перейдём.

Кризис в современном положении железнодорожного дела

«Отличительной чертой XIX века является всемирное развитие сообщений». Эти слова императора Вильгельма относились к современному положению дела, но они скорее намечают предстоящие задачи, чем соответствуют действительности.

Правда, в сравнении с железными дорогами других государств, в отношении как пассажирского, так и товарного движения, немецкие дороги имеют известные преимущества, которые может оценить всякий, кому пришлось, так или иначе, познакомиться поближе с международным сообщением.

Однако, таким неоспоримым преимуществам следует противопоставить и значительные недостатки. Не касаясь вопроса о возможности каких-либо улучшений, тем не менее надо признать, что *пассажирские поезда имеют*

слишком незначительную скорость. Упомянем лишь вскользь о той муке, которую приходится испытывать, проводя целые часы в тесном, переполненном купе вагона; между тем главный недостаток, из-за которого поезда бывают битком набиты, состоит в том, что их слишком мало находится в обращении.

Таким образом, пассажирское движение страдает недостаточностью числа поездов.

Например, всего лишь в трёх или четырёх обращающихся между Берлином и Гамбургом скорых поездах — пассажирские поезда, конечно, в данном случае не идут в счёт — собираются все пассажиры, которым нужно спешно переехать из одного города в другой. Таким образом, всё дальнейшее сообщение сосредоточивается лишь в немногие часы, а остальная часть дня для такого сообщения совершенно пропадает.

Но ещё более дают себя чувствовать слабые стороны современного движения в сообщении между двумя какими-либо провинциальными пунктами. Тут может случиться, что такие два пункта, находящиеся не только в одной и той же прусской провинции, но даже в одном и том же округе, оказываются по времени переезда более удалёнными один от другого, чем Берлин от Вены или Амстердама.

И это происходит не столько вследствие недостаточной скорости, сколько от неудовлетворительности самой системы. Если под непрерывностью понимать согласованность между собою всех отдельных передвижений, то можно сказать, что организация современного пассажирского движения не соответствует условию непрерывности сообщения. Несомненно, на наших дорогах больше времени уходит на ожидание поездов, чем на самый переезд.

В большинстве случаев это находит себе объяснение в истории развития железнодорожного дела. До введения железных дорог всё движение производилось гужом по обыкновенным дорогам, причём двигателем была лошадь. Для перевозки пассажиров служили почтовые кареты, а для перевозки грузов — подводы. Для того и другого рода сообщения пользовались одной и той же дорожкой. При железнодорожном движении в этом отношении всё осталось по-прежнему: построили новую дорогу с рельсовым путём, и по нему стали передвигаться поезда — и пассажирские, и товарные. Это обстоятельство было причиною неудовлетворительности железнодорожного движения. Если для почтовой кареты и подводы служила одна и та же дорожка, то из этого вовсе не следу-

ет, чтобы то же самое было и при железнодорожном движении. Однако, так и есть на самом деле, и отсюда происходит перегрузка линии, являющаяся источником всех зол. Если железнодорожное управление не удовлетворяет просьбы о введении в обращение какого-нибудь нового поезда, то на это могут быть причины двоякого рода.

Во-первых, это бывает потому, что, по мнению управления, новый поезд не будет окупать сопряжённых с назначением его расходов; такое мнение по большей части оказывается недалёковидным, т.к. можно считать как бы естественным законом, что новое средство сообщения создаёт и новых пассажиров. Но чаще, в особенности для главных линий с оживлённым движением, в явном или скрытом виде причина отказа заключается в наступившей уже перегрузке линий. В настоящее время пассажирское сообщение прямо подавлено перевозкой грузов и совершенно лишено всякой возможности развиваться в зависимости от современных условий движения.

Поэтому нет ничего удивительного в том, что пассажирское сообщение совершенно не удовлетворяет всем требованиям современной жизни и может обслуживать их лишь в пределах наличных средств. И всё-таки, несмотря на то, что никаких мер в этом отношении не принимается, пассажирское движение за последнее время возрастает ежегодно, приблизительно на 5,5 %; если так будет продолжаться и дальше, то через 10—12 лет оно увеличится вдвое против нынешнего, и тогда существующая организация железнодорожного движения окажется совершенно несостоятельной. Поэтому основное требование, предъявляемое к новой системе, должно быть следующее:

Отделение пассажирского движения от товарного и особая организация перевозки пассажиров.

Да и техническая сторона современного железнодорожного дела страдает существенными недостатками, так что является насущная необходимость в коренных реформах как в устройстве подвижного состава, так и в постройке дорог.

Паровоз представляет собою одну из самых неэкономичных паровых машин, находящихся в нашем распоряжении. В качестве двигателя он может быть нагружаем в весьма небольшой степени. Если ему и приходится на короткое время проявить вдвое большую против нормальной силу тяги, то он доходит до предела

своей мощности. Наконец, и скорость хода паровоза ограничена строгими пределами. При желании достигнуть большей скорости необходимо соответственно увеличить число оборотов. Но тогда появляются добавочные усилия, вследствие ускорения и замедления, движущихся взад и вперёд масс, и столь значительные вызываемые ими удары и колебания, что движение становится неэкономичным и опасным. Даже защитники и сторонники паровозов считают скорость в 100 вёрст пределом для экономичного использования их мощности. Для дальнейшего развития пассажирского движения, по необходимости, требуется применение электрической тяги, условия которой являются совершенно иными и притом гораздо более выгодными. Благодаря искусно применённым конструктивным приёмам и целесообразной постановке опытов, особому обществу, поставившему себе задачей изучение вопроса о дорогах большой скорости, удалось даже при современных средствах техники спроектировать вагон, вполне надёжный для движения на коротких линиях со скоростью 200 вёрст в час.

Хотя на первый взгляд, переход к системе железных дорог большой скорости и представляется в техническом отношении разрешённым самым блестящим образом, но всё-таки, ближе ознакомившись с делом, приходится, к сожалению, заключить, что даже и с технической стороны вполне разрешена лишь очень небольшая часть задачи; оказывается, что подвижному составу, играющему, как считали до сих пор, самую важную и сложную роль в настоящем вопросе, должен быть противопоставлен другой фактор, на который пока обращалось очень мало внимания, но который, однако, мог бы свести к утопии все мечты о дороге большой скорости, если бы он остался без изменения в современном виде; это задача о верхнем строении пути, разрешение которой хотя и представляется, на первый взгляд, лёгким, но оказывается важнейшим и необходимым условием для осуществления дороги большой скорости.

При современном устройстве верхнего строения пути дорога большой скорости неосуществима

Причины, по которым это происходит, могут быть подразделены на две главные группы. Одна заключается в самой постройке линий, а именно в укладке рельсового



пути, в качестве опоры для подвижного состава, другие же вытекают из тех обстоятельств, которыми сопровождается отклонение пути от прямой линии, при проходе поезда по кривым.

Уже на прямом пути при скорости в 200 вёрст в час колебания, возрастающие пропорционально квадрату скорости, настолько удорожают содержание верхнего строения, что, казалось бы, о выгодной эксплуатации не может быть и речи. На кривых к этому присоединяются едва преодолимые технические трудности, и по настоящее время не разрешённые вполне удовлетворительно.

Предел достижимой скорости движения определяется не родом подвижного состава и движущей силы, как можно было бы скорее всего ожидать, а особенностями пути, состоящего из пары рельсов. Вопрос о скорости сводится в настоящее время к вопросу о рациональном устройстве пути, который ещё ожидает своего разрешения.

Для того чтобы осуществить дорогу большой скорости, следует совершенно оставить старую систему. В то время как из исследования движения по нынешним железным дорогам вытекает приведённое выше первое условие для новой организации пассажирского движения, из рассмотрения технической стороны существующей системы получается следующее неизбежное второе основное условие:

Замена существующей двухрельсовой колеи для дороги большой скорости особою системою рельсового пути.

Надо найти такое устройство пути, при котором было бы обеспечено прохождение поездов как по прямым участкам, так и по кривым, со скоростью в 200 вёрст в час.

Выполнение новой системы

От вполне совершенной системы сообщения требуется, чтобы движение происходило с наименьшею затратой времени и движущей силы. Для достижения этой цели необходимо, кроме большой скорости движения отдельных поездов, удовлетворить ещё двум другим условиям, представляющим понятие о непрерывности движения.

Равномерное обращение часто следующих один за другим поездов на отдельных участках и приведение во взаимную связь по одной общей системе отдельных передвижений на различных участках.

В основу новой системы должен быть положен принцип непрерывности, при котором различные отдельные передвижения находятся между собою в рациональной органической взаимной зависимости и вполне удовлетворительно обслуживают свои районы. Образцом для новой организации сообщений может служить живой организм, и подобно тому, как всё тело пронизывается сильными бьющими жилами, лучевыми артериями и тончайшими жилками, также и сообщения должны быть организованы рационально и целесообразно. Как циркулирующая в организме кровь с особенной силой пульсирует между главными более важными органами, но при этом свежая кровь, протекая постоянно по сетям второго и третьего порядка, достигает самых отдалённых частей тела, так что нигде не происходит перерыва в установленной между ними взаимной связи и не прекращается приток к ним жизненных соков, точно так же следует в новой системе сообщений установить правильные токи и постоянно их поддерживать. Таким образом, получается первое положение для новой системы:

Железнодорожная сеть с редкими петлями для быстрого дальнего сообщения между главными центрами.

Такая сеть дальних сообщений, по которой обращаются поезда со скоростью в 200 вёрст в час, составляя часть новой организации, удовлетворяет потребности в сообщении между главными населёнными пунктами, но для сообщений будущего времени этого ещё недостаточно. Непрерывность движения требует, чтобы и для пространств, заключённых внутри петель этой сети, был выход на неё, так, чтобы из этих пространств пассажиры постоянно притекали к главным артериям сети и обратно из этих артерий попадали в места, расположенные внутри петель сети. Из этого требования вытекает второе положение для новой организации сообщений:

Система подъездных сетей должна питать дороги дальних сообщений.

К главным артериям сообщений должны прилегать петли более слабого движения, т.е. к главной сети, со скоростью в 200 вёрст в час, будет примыкать сеть второго порядка, из второстепенных дорог, со скоростью движения от 120 до 150 вёрст в час, а к ней примкнёт, в свою очередь, ещё более частая и разветвлённая сеть

подъездных железных дорог, со скоростью от 50 до 60 вёрст в час, и, наконец, к ней будут подходить последние ветки, которые можно уподобить питающим дерево корням, а именно — линии автобусного сообщения, захватывающие все сёла и деревни и забирающие каждого пассажира чуть не от самого его дома.

Автобусы доставляют пассажиров на линии третьего порядка, по которым происходит непрерывным потоком движение собранных таким образом пассажиров до узловых пунктов сети второго порядка и, наконец, по ней ещё более интенсивно происходит движение до главных артерий, т.е. линий первоначальной, главной сети.

Таким образом, установится систематический подвоз пассажиров, сущность которого состоит в том, что каждому поезду при самом прибытии его на станцию соответствует другой, для немедленного дальнейшего отправления пассажиров.

Движение по такой рода сети с узловыми пунктами представляет большие выгоды. При целесообразном расположении узлов все станции сети второго порядка будут обслуживаться почти так же, как и станции главной сети, и, во всяком случае, гораздо лучше, чем при нынешней организации сообщений.

При организации новой системы сообщений особое внимание надо обратить на большие города. Ввиду того, что к ним подходят железные дороги со скоростью движения в 200 вёрст в час, все устройства для сообщений в больших городах следует рассматривать, как средства для подвоза на сеть мирового движения, доставляющие на неё пассажиров из каждой улицы и даже из каждого дома. Но независимо от этого остаётся самостоятельное движение внутри густонаселённого города, и технике предстоит разрешить важную задачу организации весьма интенсивного городского движения.

Уже и теперь в этом направлении кое-что сделано. Во многих городах с миллионным населением существуют две совершенно отделённые одна от другой сети: сеть уличных дорог, для сообщения между группами улиц, и сеть возвышенных или подземных дорог, для быстрого сообщения между городскими кварталами. Но тут устройство сообщения как по своей организации, так и в отношении технических приёмов, дошло до крайнего предела, и каждый железнодорожный техник ужаснётся, представив себе, до чего дойдёт уличное дви-

жение в Берлине к 1920 году, если оно и дальше всё так же будет развиваться, как до сих пор. Чтобы выйти из этого положения необходимо, вполне сознаёт и городское управление, и уже одно то, что не останавливаются перед многомиллионными проектами, показывает, насколько назрела эта необходимость.

Новая система должна дать несколько сетей различного значения, но в то же время такие сети должны быть настолько часты и так целесообразно расположены, чтобы они действительно выполняли своё назначение, а в Берлине дело обстоит далеко не так. Правда, здесь уличные дороги, действительно, развились в частую сеть второстепенных дорог, но главная сеть скорого городского сообщения оставляет ещё желать много лучшего. Лишь немногие линии прорезывают площадь в четыре квадратных мили, которые занимает главная часть города, и на эти линии для большей части жителей так трудно попасть, что они предпочитают совершать весь свой путь в вагонах уличных дорог, которые, однако, должны были бы служить лишь подъездными путями. Здесь необходимо изменить всю организацию, а именно: ввести рациональную систему, при которой периферия соединяется радиусами с центрами. Для обеспечения известной площади средствами сообщения могут быть предложены две системы: с пересечением линий под прямым углом и радиальная. В виде примера первой системы можно указать на устроенные в Нью-Йорке возвышенные дороги. Там целая система параллельных линий проходит вдоль продолговатого Manhattan Island, на котором расположен Нью-Йорк, а другой ряд дорог идёт поперёк, так что железнодорожные линии, пересекаясь между собою, образуют довольно правильные четырёхугольники. Такая система в специальных случаях, как это имеет место в Нью-Йорке, может оказаться вполне подходящею, но всё-таки вообще следует решительно предпочесть ей систему с линиями, расположенными по радиусам и по окружности.

При этом вокруг всего данного пространства пройдёт линия, имеющая форму окружности — периферическая или кольцевая дорога, а из центрального пункта этого пространства проводятся к окружности дороги по направлениям радиусов. В принципе, такая система не представляет ничего нового, и в истории берлинских железных дорог



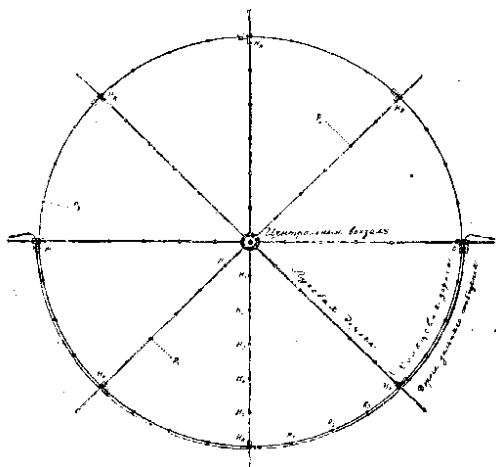


Рис. 1. Новая радиально-периферическая система железнодорожного движения в большом городе.

можно найти удачные попытки в этом направлении, но, как это часто бывает, дальнейшее развитие было затруднено всякого рода побочными соображениями, причём первоначальные проекты были впоследствии совершенно искажены.

При правильной системе движения не должна быть допускаема передача поездов с радиусов на кольцо и наоборот, так что движение по кольцу должно быть совершенно самостоятельным, причём выходящие из центра города радиусы, которыми кольцо делится на одинаковые длиной дуги, пересекая его, проходят или над, или под ним, и движение, соответственно местным потребностями может быть различно на разных радиусах.

Из центра города выходят, таким образом, дороги во все стороны по территории города в виде лучей и в расстоянии 7–10 км встречаются кольцевую дорогу. На двух диаметрально противоположных станциях кольцевой дороги должны находиться вокзалы дальних дорог, причём на один из них прибывают все поезда с севера и запада, а на другой с юга и востока. Оба вокзала дальнего сообщения, конечно, должны быть также соединены между собою особым полукольцом. Как на лучевых дорогах, так и на кольце, должны быть устроены станции на расстоянии 1 км одна от другой. В больших городах, по мере их развития, могут быть построены пригородные concentрические с первым кольца, причём лучевые дороги потребуются соответственно удлинить. Пригородные кольцевые дороги должны быть проложены на насыпях.

По прилагаемому чертежу (рис. 1) можно наглядно проследить путь пассажира по «радиально-периферической» дороге большого города. Он попадает, напр., как показано пунктиром, из пункта P_1 на станцию лучевой дороги, едет по этому радиусу в середину города, оттуда направляется по другому радиусу и прибывает в желаемый пункт P_2 . Если пассажиру нужно попасть в пункт P_3 , то ему лучше ехать по своему радиусу до кольца, по которому он доедет до соответствующей станции, откуда и прибывает в пункт P_3 . При таком устройстве, из каждого пункта городской территории между обоими вокзалами дальнего сообщения легко попасть на дороги дальнего следования, и таким образом, благодаря радиально-периферической системе городских дорог, вся территория города становится как бы одним огромным вокзалом дальнего сообщения.

При переезде из какого-нибудь пункта Германии A в другой пункт B , при описанной выше организации, можно принять для длинных поездок, совершаемых по главным линиям, среднюю скорость около 140 км в час, и тогда из Берлина можно будет доехать до самых удалённых мест на границе Германии не более, как за 6 часов. Таким образом, даже в сравнительно редких и неблагоприятных случаях на всю какую-нибудь деловую поездку — с проездом туда и обратно — потребуется всего лишь один день. Для большей же части случаев время, нужное на поездку, сократится ещё больше. В среднем, нужно считать 4–5 часов на такие поездки, которые теперь отнимают целый день. Столь значительное сокращение продолжительности поездок, достигаемое при новой, строго логичной организации, представляет весьма важное улучшение сообщений и чрезвычайно облегчает самые поездки. Но история сообщений нам ясно доказывает, что всякое улучшение сообщений влечёт за собою и развитие движения. Таким образом, и выгоды, получаемые при новой организации, вызовут увеличение напряжённости и густоты движения. Поэтому можно предвидеть следующий весьма вероятный результат этого развития сообщений: *новая организация сведёт рост сообщения внутри страны к простому местному сообщению.*

Инженер К. Тихомиров
(Железнодорожное дело. — 1910. —
№ 11–12. — С. 51–55) ●

НОВАЯ СИСТЕМА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ С БОЛЬШОЙ СКОРОСТЬЮ ДВИЖЕНИЯ, ПРЕДЛОЖЕННАЯ АВГУСТОМ ШЕРЛЬ (ПРОЕКТ УЛУЧШЕНИЯ ПАССАЖИРСКОГО ДВИЖЕНИЯ)

ЧАСТЬ 2.

Поезда новой системы

Для осуществления новой системы с её очень быстрым движением поездов, необходимо иметь такой подвижной состав, при котором не только можно развивать требуемую скорость в 200 км в час, но и достигнуть ещё большей безопасности и удобства передвижения, чем на существующих железных дорогах. Такое требование вызывает безусловную необходимость в изменении существующего устройства железных дорог и в переходе к более простому виду железнодорожного пути.

Взамен двухрельсового пути следует для дороги большой скорости применить однорельсовый путь.

Преимущества однорельсовой дороги были известны раньше, чем нашли тот путь, которым можно прийти к желанной цели, но прежде, чем достигнуть её, был произведён целый ряд попыток, иногда и безуспешных. От многочисленных проектов однорельсовых дорог, которые на самом деле представляют собою двух-, трёх- или даже пятирельсовые и никогда не могли бы вытеснить исключительно господствующую теперь двухрельсовую дорогу, — существенным образом отличается настоящая однорельсовая дорога, при которой нарушенное равновесие тотчас же автоматически восстанавливается, причём равнодействующая всех сил, приложенных к вагону, в каждый момент проходит через рельс*. При настоящей однорельсовой дороге не требуется для этого каких-либо особых направляющих устройств, и равно-

весие обеспечивается прибором, помещённым в самом подвижном составе; при этом вагон представляет совершенно самостоятельное целое и не нуждается, кроме единственного рельса, ни в каких опорах и направляющих устройствах (рис. 1).

Автоматически действующий аппарат для придания подвижному составу устойчивости, главным образом, состоит из быстро вращающегося волчка особого устройства, гиросtatический момент которого применён так, что он в каждое мгновение уничтожает силы, стремящиеся опрокинуть вагон.

Направляющая и сообщающая вагону устойчивость способность волчка была давно известна в технике, и уже около тридцати лет тому назад пытались придать находящемуся в неустойчивом равновесии телу устойчивость при помощи быстро вращающегося волчка. За последние годы появился целый ряд конструкций, не достигших, однако, практических результатов. В 1907 году англичанину Бреннану** удалось построить первую модель однорельсового вагона.

Немецким техникам хорошо известно, что и в Германии также многие работают над разрешением этой задачи.

В настоящее время там организовано в специальных опытных мастерских подробное исследование приведения в устойчивое положение подвижного состава при помощи гиросtatического прибора. Достигнуты уже определённые результаты, и дальнейшие опыты будут вестись в виде особого технического предприятия на широко поставленных финансовых основаниях и в более широких размерах. Хотя до окончания опытов технические результаты их не могут быть известны,

* Об однорельсовых дорогах других систем или типов см. «Жел.-дор. Дело»: 1885 г., с. 272; 1886 г., с. 9; 1887 г., с. 33; 1890 г., с. 112; 1891 г., с. 491; 1893 г., с. 298; 1896 г., с. 135; 1897 г., с. 499; 1900 г., с. 12; 1901 г., с. 119, 148, 492; 1902 г., с. 31; 1909 г., 81д, 141д и 213д. — *Ред.*

** См. «Жел.-дор. Дело» 1909 г., с. 81д: «Однорельсовая гироскопическая жел. дорога Луи Бреннана». Доклад П. А. Ющенко. — *Ред.*



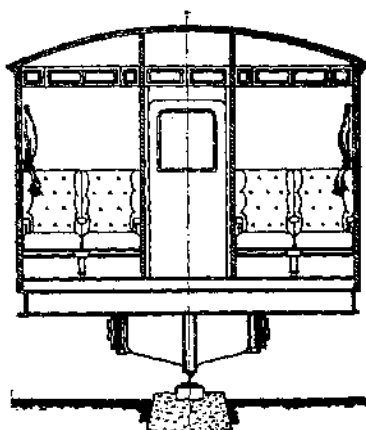


Рис. 1. Поперечный разрез вагона однорельсовой железной дороги.

тем не менее, теперь можно положительно утверждать, что настоящий однорельсовый подвижной состав уже существует в действительности, и таким образом имеется уже средство для того, чтобы с успехом осуществить новую организацию сообщений. Перевозочным средством новой системы является однорельсовый вагон, приводимый в устойчивое положение гиросtatическим прибором.

При таком подвижном составе преимущества однорельсового пути соединяются с выгодами электрической тяги, причём не только устраняется медленность нынешних сообщений, но и их неудобство для пассажиров. Кроме того, что применение однорельсовой дороги обеспечивает совершенно спокойный ход поезда и отсутствие колебаний вагонов, пассажиры не утомляются вследствие стука и сотрясений и притом совершенно не стесняются в своих движениях и действиях. Вместо того, чтобы тратить понапрасну несколько часов, в течение которых происходит переезд, пассажир может находиться в отдельном купе, обставленном с привычным ему комфортом, и с полным удобством заниматься своими делами.

При нормальных условиях, вследствие простоты устройства прибора, придающего вагону устойчивость, не может произойти прекращение его действия. А если по какой-нибудь причине прервётся электрический ток, то волчок, вследствие приобретённой им «живой» силы, будет продолжать вращаться ещё достаточно долго, чтобы можно было затормозить поезд. При уменьшении скорости вращения волчка до известного

предела, автоматически опускаются особые колёса, поддерживающие вагон с обеих сторон. Большая часть нагрузки, конечно, передаётся главными колёсами на рельс, а боковые колёса служат лишь для компенсации эксцентрической нагрузки. Из какого бы числа и каких отдельных составных частей ни состоял поезд новой системы, всегда соблюдается следующий принцип:

Каждый поезд является самостоятельной отдельной единицей.

Вагоны новой системы должны иметь характер отеля, причём во время поездки пассажир не вынужден отказываться от своего обычного образа жизни, и ему должна быть предоставлена полная возможность использовать это время для своих занятий. Особенное внимание должно быть обращено на продовольственную часть и на необходимые удобства для письменных занятий и чтения. В центральной части среднего вагона поезда имеется общий зал, о техническом назначении которого будет сказано далее. Во время движения поезда он представляет для пассажиров нечто вроде вестибюля отеля; посредине его находится особое бюро, в котором помещается железнодорожный агент. Если сравнить движущийся поезд с небольшим, совершенно обособленным городом, то можно назвать это бюро как бы центром, в котором сосредотчивается вся общественная жизнь. Находящийся в бюро агент, как портье в отеле, выдаёт все желаемые справки о предстоящих узловых станциях, о времени прибытия поезда на ту или другую станцию и т.п. В его распоряжении имеются краткие расписания поездов, находящихся в обращении на лежащих впереди участках, и, здесь же, как и в других местах поезда, появляется видное издали, а в случай надобности, и хорошо освещённое название станции при приближении к ней поезда на известное расстояние; здесь же во время пути можно получать последние газеты и журналы. Если линия для железнодорожного движения снабжена беспроволочным телеграфом, то здесь можно будет также подавать и получать телеграммы. Во время стоянки поезда агент уже не несёт этих обязанностей, а распоряжается приёмом и выпуском из поезда пассажиров тем

порядком, который будет указан впоследствии.

Путь новой системы

Усовершенствованному подвижному составу должно соответствовать и вполне целесообразное устройство пути. При этом к общим требованиям, предъявляемым ко всякой железной дороге и подробно изложенным в начале этой статьи, присоединяются ещё и другие условия, вытекающие из особенностей новой системы. При осуществлении новой системы в полном объёме во всей стране необходимо резко отграничить её ото всех остальных сторон общественной жизни. Нет надобности распространяться о том, что новая дорога с её огромною скоростью в 200 км в час никоим образом не может быть расположена среди прочих путей сообщения. Её путь должен быть совершенно отделён от всего окружающего, попадать на неё можно будет исключительно на станциях и других остановочных пунктах, и поэтому пересечение в одном уровне с какими-нибудь другими путями, проезды и переходы не должны быть допущены. Прохожий не успеет дочитать до конца вывешенное объявление, предупреждающее об опасности, как сильная струя воздуха от быстро несущегося поезда снесёт или отбросит его в сторону. Таким образом, как людям неосторожным, так и злоумышленникам должна быть отрезана всякая возможность попасть на путь. Поэтому, безусловно, должно быть выполнено следующее требование:

Новая железная дорога большой скорости не может быть проложена на уровне земли.

В большей части случаев потребуются строить её в виде возвышенной железной дороги, проходящей над всеми остальными дорогами, проведение которых под полотном железной дороги не представит никаких трудностей для современной техники.

Техническая сторона устройства основания дороги и в особенности выбор строительных материалов могут быть различны в зависимости от местных условий. Во всех городах и в более населённых местностях, например, в промышленных центрах, в местах разработки каменного угля, вообще везде, где стоимость земли очень высока, при устройстве полотна железной до-

роги придётся отдать предпочтение сооружениям из железа.

Вообще, этот вопрос об устройстве нижнего строения дороги представляет чисто финансовую задачу, и к разрешению его с технической стороны едва ли встретятся какие-либо затруднения. То или другое решение его в каждом отдельном случае должно лишь удовлетворять тем условиям, которые были подробно изложены выше. Нижнее строение должно быть достаточно надёжно для того, чтобы принять на себя нагрузку от пробегающего подвижного состава, и представлять такое устройство, чтобы движение на новой дороге большой скорости было обеспечено лучше, чем нынешними шлагбаумами и заборами, от доступа на путь людей и животных.

Важное значение имеет также и поперечный профиль верхнего строения. При его устройстве должно быть обращено внимание на все потребности эксплуатации, а в особенности на осмотр и исправление пути, причём надо иметь возможность объезжать и осматривать путь, не прекращая по нему движения. Само собой ясно, что существующий ныне способ осмотра пути, по которому проезжают на дрезинах железнодорожные агенты, не может иметь места; с другой же стороны нечего и говорить о том, насколько здесь будет необходим самый тщательный осмотр пути. И теперь уже лопнувшие рельсы, ослабшие болты и костыли и другие недостатки бывают иногда причиною несчастных случаев на железных дорогах, а при очень большой скорости на будущих дорогах они могут привести к ещё более ужасным катастрофам. При новой системе безусловно необходима полная безопасность движения, и техника располагает всеми средствами, необходимыми для достижения этой цели.

Ввиду этих требований, поперечный профиль дороги большой скорости по своему виду должен существенным образом отличаться от применяемых в настоящее время типов.

Для защиты осматривающих или исправляющих путь агентов от сильной струи воздуха при проходе поезда, следует придать профилю особую форму. Все равно, будет ли это сооружение из железа, или



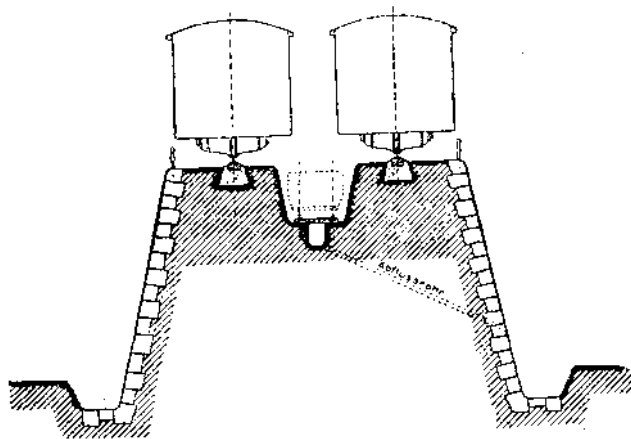


Рис. 2. Разрез насыпи на перегоне между станциями.

земляная насыпь, посредине железнодорожного полотна нужно сделать углубление шириной около 2,5 метра и глубиной в 1,5 метра, и в нём уложить вспомогательный путь, движение по которому будет производиться с помощью аккумуляторов или бензомоторов. Это устройство при однорельсовой дороге может быть выполнено без увеличения ширины полотна, так как расстояние между обоими рельсами главных путей должно быть несколько больше ширины вагона, т.е. около 4,5 метров. Вспомогательный путь должен быть оборудован вагонами с домкратами, инструментами и пр. В том же вспомогательном вагоне должно быть помещение на 6—8 человек.

Благодаря тяге при помощи аккумуляторов, эти вагоны совершенно не зависят от доставления движущей силы извне, и поэтому при прекращении тока, вследствие происшедшего где-нибудь в проводах короткого замыкания или по случаю приостановки работы на центральной станции, в видах безопасности пассажиров, вспомогательные вагоны по-прежнему сохраняют полную возможность передвижения по служебному пути. При всяком случае повреждения пути можно будет быстро доставить на место необходимое число рабочих, инструментов и материалов и с полной безопасностью производить ремонт, даже не прекращая движения. Кроме вспомогательных вагонов, по этому служебному пути передвигаются и вагоны для агентов, которые должны постоянно тщательно наблюдать за состоянием путей. Эти аген-

ты могут с удобством помещаться в медленно движущемся вагоне и осматривать правый и левый пути при помощи зеркал, расположенных на служебном вагоне и соответственным образом, защищённых от влияния погоды.

Чтобы удовлетворить изложенным соображениям и требованиям, надо придать полотну вид, указанный на рис. 2 и 3. На рис. 2 показан поперечный разрез земляной насыпи с каменными подпорными стенками. На рис. 3 та же насыпь изображена в перспективе. На обоих рисунках можно видеть выемку в виде канала, устроенную в насыпи, с почти отвесными стенками, а также и служебный вагон. Чтобы движению в этой выемке не препятствовали дождь и снег, в нижней части её устроена сточная труба, из которой поперечными трубами дождевая и от таяния снега вода отводится в канал, расположенный рядом с насыпью. На рис. 2 можно ясно видеть как сточную, так и боковые выпускные трубы. Впрочем, рельсы вспомогательного пути в этой выемке должны быть расположены в таком расстоянии от её дна, чтобы снег мог их покрывать лишь в очень редких случаях. На городских воздушных возвышенных дорогах смотрового канала можно и не устраивать.

На дорогах новой системы должны быть особого рода устройства, обеспечивающие безопасность движения. При очень большой скорости следует передать путевые сигналы в распоряжение лица, ведущего поезд, или, ещё лучше, комбинировать сигналы обоих родов между собою, т.е.

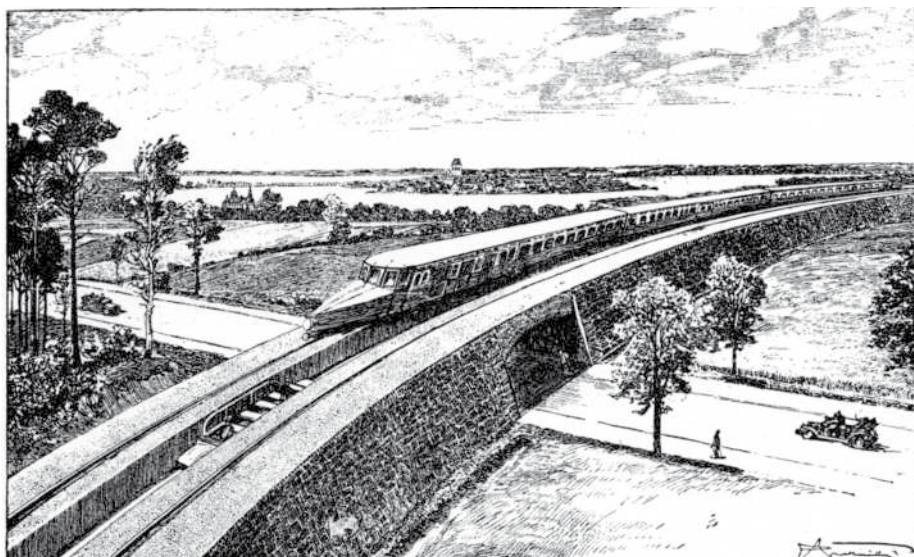


Рис. 3. Общий вид однорельсовой дороги на перегоне между станциями.

путевые сигналы с поездными. Затем безопасность движения должна быть увеличена организацией ответов на полученные сигналы, посредством которой вагоновожатый тотчас по получении сигнала должен передать его назад туда, откуда он его получил. Этот принцип и теперь уже применяется в тех случаях, где движение связано с особою ответственностью, например, при передаче приказов на морских судах; каждый машинист, прежде чем привести в исполнение, полученное в машинном отделении распоряжение, обязан телеграфировать его обратно на капитанский мостик в удостоверение того, что он правильно понял полученный приказ. Такое возвращение приказа гарантирует полную безопасность, так как питающий моторы ток будет немедленно прерван, если вагоновожатый не возвратит полученного сигнала.

Необходимо сказать ещё здесь об особом типе пути, а именно об устройстве его в городах, в застроенных домами местностях. В настоящее время для скорого сообщения в городах применяются дороги трёх родов: возвышенные, расположенные непосредственно ниже уровня мостовой и подземные. С экономической точки зрения, из этих трёх типов лучшим является первый, в том виде, как он применяется в Берлине, Париже и Нью-Йорке, но он имеет существенные недостатки, а именно: железная дорога этого типа затемняет ули-

цы, над которыми она проходит и, кроме того, очень беспокоит жителей своим шумом. И действительно, теперь возвышенные дороги допускаются лишь на особенно широких улицах, с бульваром посредине, и поэтому применение их очень ограничено. В тех частях города, где этот тип не может быть применён, на Европейском континенте прибегают к железным дорогам, расположенным ниже поверхности мостовой. При этом типе внешний вид улиц не страдает, но устройство таких дорог обходится очень дорого, а именно: при особых технических трудностях постройки их в Берлине, погонный километр этих дорог обходится около 10 млн марок, в то время как стоимость километра обыкновенной возвышенной дороги составляет всего лишь 1,5 млн марок. Можно было бы до некоторой степени уменьшить невыгодность таких дорог, проводя их в пригородных местностях по более широким улицам, в открытых сверху траншеях, т.е., сняв верхнюю часть туннеля, с ограждением этих траншей решётками, но при этом возникнут новые затруднения технического характера, и пострадает вид улиц. При этом даже если и не придавать значения последнему обстоятельству, всё-таки у дорог этого типа останется коренной недостаток, свойственный также и возвышенным дорогам и состоящий в том, что они должны следовать направлению улиц,



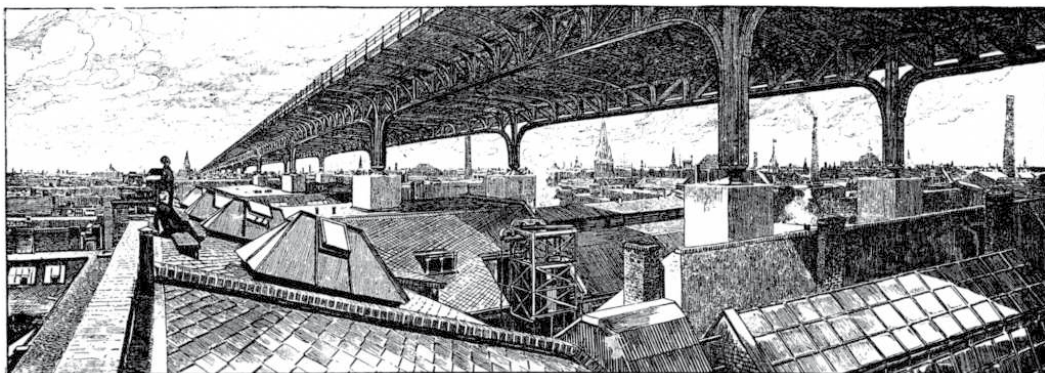


Рис. 4. Воздушная возвышенная дорога в большом городе (вид снизу). Она пройдёт по прямому направлению над домами. Уложенный на виадук путь будет находиться на такой высоте, что красота города нисколько не пострадает. Со страшной быстротой будут мчаться над городом поезда, не производя никакого шума и не вызывая сотрясений в зданиях, так как виадук представляет совершенно самостоятельное сооружение и поддерживающие его колонны, имеют собственный фундамент, вполне отделены от кладки окружающих их построек. Обычные условия жизни и деятельности в городах и предместьях нисколько не будут нарушаться проведением этой дороги, по которой, едва уловимо для зрения и слуха, будут быстро пробегать поезда. Дорога пройдёт настолько высоко над домами, что она совсем не будет загораживать света и мешать притоку чистого воздуха. Таким образом, воздушная возвышенная дорога наиболее удачно разрешит вопрос об устранении всех недостатков современной системы движения поездов.

почему сильно стесняется расположение железной дороги в плане.

Последнего неудобства можно избежать лишь при применении подземной железной дороги, но здесь расходы по сооружению оказываются ещё более значительными, не оправдываемыми последующей эксплуатацией; например, надо считать, что расходы по постройке подземных дорог в Лондоне никогда не окупятся.

Новая система даёт возможность сооружения такой дороги для быстрого городского движения, которая и в техническом, и в экономическом, и в эстетическом отношении должна быть признана прямо идеальной.

Железнодорожные линии новой системы в городах будут проходить высоко над домами. Так как движение поездов будет происходить почти вовсе без ударов и сотрясений, а, следовательно, и не будет производить шума, то оказывается возможным то, чего нельзя было достигнуть при существующих до сих пор системах: не нужно будет уже больше прятать дорогу глубоко под землю; вместе с тем отпадает необходимость и в том, чтобы железная дорога шла по направлению улиц и своими более или менее массивными железными сооружениями лишала улицы некоторой части воздуха и света. Совершенно независимо от часто очень извили-

стых очертаний улиц, которым должны следовать нынешние возвышенные дороги, линии новой городской дороги — воздушной возвышенной дороги — будут проходить над крышами домов по кратчайшему направлению воздушной линии. О способе постройки таких линий можно судить по рис. 4 и 5.

Стройные колонны из железобетона будут проходить через дома, будучи совершенно отделены от стен построек и опираясь на особые фундаменты, глубоко заложённые в земле, и эти колонны будут поддерживать виадуки; на рис. 6 показан разрез жилого дома с колонною воздушной возвышенной дороги.

Пространство, занимаемое железобетонным столбом, и без того не велико, но кроме того, как видно на рисунке, можно сделать столб внутри пустым, с устройством лифта и вокруг него винтовой лестницы. Да и теперь уже на каждом шагу можно встретить разного рода комбинации железнодорожных линий с жилыми домами. За примерами нет надобности обращаться к американским дорогам, так как и на берлинских возвышенной и подземной железных дорогах можно указать подобные случаи. Так, например, рис. 7 представляет проведение подземной дороги под гостиницей Фюрстенгоф, а на рис. 8 изображён про-



Рис. 5. Пересечение улицы большого города воздушной возвышенной дорогой.

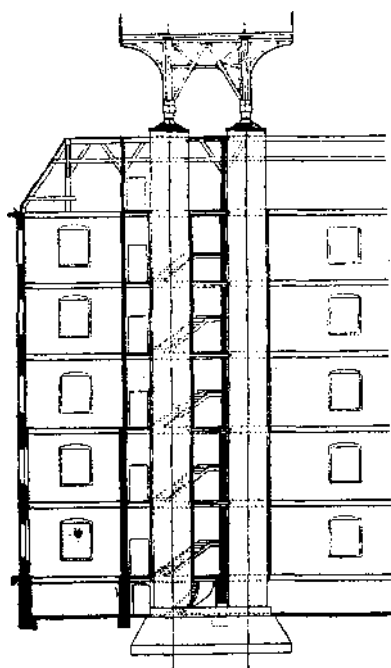


Рис. 6. Воздушная возвышенная железная дорога в большом городе.

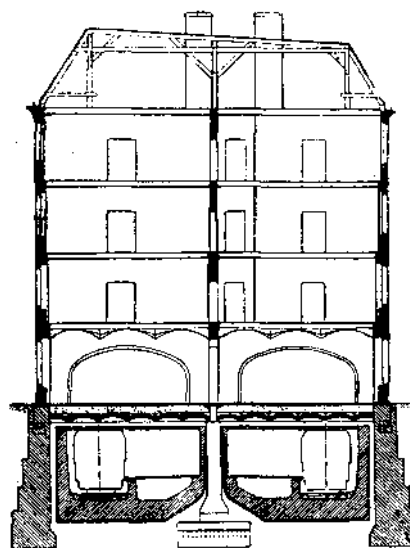


Рис. 7. Берлинская подземная железная дорога под гостиницей Фюрстенгоф на Leipziger Platz.

резанный железной дорогой дом на Ден-невиц-штрассе.

Вокзалы железных дорог новой системы

На железных дорогах новой системы, с новым подвижным составом, передвигающимся по новому устройству пути,

конечно, и вокзалы должны по своему виду отличаться от существующих на нынешних дорогах.

Обыкновенный вокзал современной железной дороги представляет здание, в котором, кроме служебных, багажных и других помещений, имеются ещё залы



для ожидающих поезда пассажиров, с буфетами. К пассажирскому зданию примыкают платформы, которые для защиты пассажиров от непогоды перекрыты особыми навесами.

Но всем хорошо известно, что такие навесы далёко не достигают цели, и пассажиры, в ожидании поезда, находясь в более или менее открытых помещениях, страдают от холода и сквозного ветра, а на маленьких станциях навесов и вовсе нет, так что пассажиры совершенно не защищены и от дождя.

Вокзалы при железной дороге новой системы предполагается устроить так, что будет возможно избежать как указанных выше, так и различных других неудобств. На существующих теперь вокзалах пассажиру после приобретения билета, приходится самому отыскивать поезд, с которым он должен ехать. По прибытии поезда на станцию пассажиры сразу выходят из многих дверей, что бывает особенно заметно при массовом передвижении между Берлином и его пригородными местностями в воскресные дни. На платформе происходит настоящая свалка; одни стремятся к выходу, другие отыскивают поезд, на который они должны пересесть.

В конце концов, правда, устанавливаются необходимые и желаемые течения пассажиров, но вначале все беспорядочно снуют взад и вперёд и сталкиваются друг с другом. Выходить из поезда и попадать в вагон для каждого пассажира в отдельности бывает не только затруднительно, но иногда даже и сопряжено с опасностью. Коренное переустройство пассажирских зданий положительно необходимо.

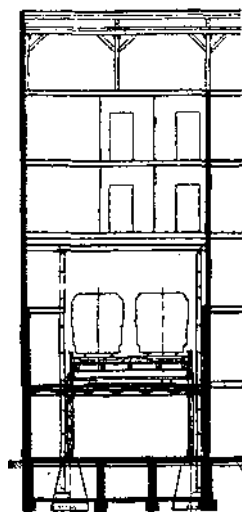


Рис. 8. Берлинская возвышенная железная дорога на Денневиц-штрассе (Dennewitz Strasse).

Благодаря новой организации, будет достигнуто значительное упрощение устройства вокзалов. Введение строго непрерывного движения повлечёт за собой сокращение до минимума времени, которое приходится тратить на ожидание поезда; благодаря этому, можно будет давать значительно меньше размеры пассажирским залам и буфетным помещениям. Для самих пассажиров в этих помещениях почти и не будет надобности, так как ожидать поезда им придётся очень недолго, да притом и в пути они будут иметь возможность получать за недорогую цену хорошее продовольствие. Такие помещения скорее будут служить для лиц, провожающих пассажиров, чем для самих пассажиров, а, следовательно, по своим размерам будут гораздо меньше, чем теперь. Поэтому на

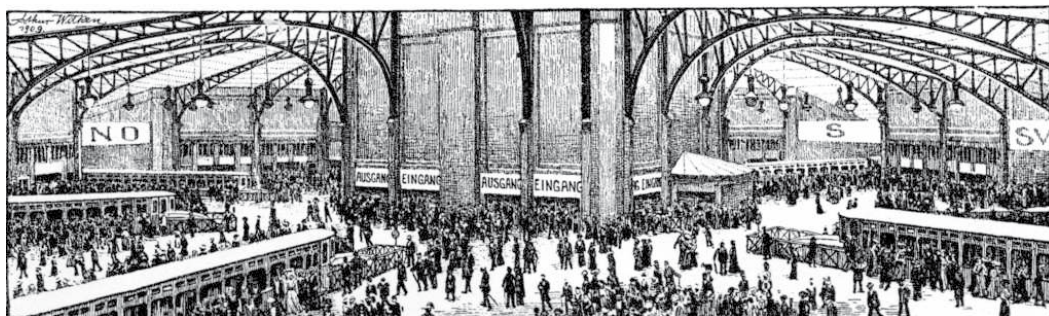


Рис. 9. Платформа центрального вокзала в большом городе.

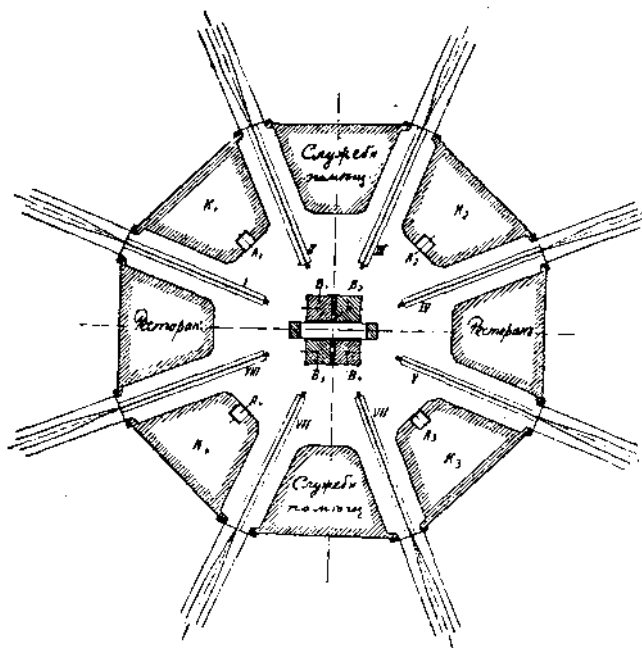


Рис. 10. Расположение платформы в плане.

вокзалах новой системы останутся, главным образом, только такие устройства, которые необходимы для самого движения.

Далее следует один из важнейших принципов, состоящий в том, чтобы все потоки пассажиров, которые теперь, как было только что сказано, пересекаются между собою, привести в систематический вид и организовать их так, чтобы совершенно устранить всякого рода столкновения и напрасно отнимающие время и силу трения. Вернее всего этого можно достигнуть, по возможности ограничив самостоятельное передвижение отдельных пассажиров. Вместо произвольного передвижения отдельных пассажиров устанавливается механическое перемещение их целыми группами.

При этом с одной стороны, достигается желаемое общее движение всех пассажиров, а с другой стороны — механическое перемещение с помощью лифтов, подвижных платформ и других подобного рода устройств, и сбережение силы, так как тогда совершенно отпадает сама собою необходимость в беготне, хождении по лестницам и пр.

Осуществление на деле этих теоретических соображений обуславливает необходимость ввести для вокзалов новой системы конструктивный элемент, для опреде-

ления которого можно воспользоваться, словом «кабина».

«Кабина» представляет собою усовершенствованный и видоизменённый лифт, который передаёт пассажиров от входа в вокзал прямо в поезд и точно так же из поезда к выходу из вокзала. Она должна иметь все необходимые приспособления для того, чтобы не только служить лифтом в вертикальном направлении, с движением вверх и вниз, но и быть пригодною для горизонтального продольного передвижения.

Входы и выходы у неё, соответствуют выходным и входным дверям среднего в поезде вагона, устраиваются так, чтобы оба потока пассажиров, а именно как выходящих из кабины в поезд, так и переходящих из поезда в кабину, никоим образом не сталкивались и не мешали друг другу. Этим требованием строгого разделения потоков пассажиров обуславливаются затем и размеры кабины. Главное назначение её, состоящее в механической подаче пассажиров прямо в любой поезд, поведёт далее к тому, что платформы будут совершенно свободны от публики, и ими будут пользоваться исключительно железнодорожные агенты. Такое устройство представляет для публики полную безопасность от всякого рода несчастных случаев при прибытии и отправлении поездов. Далее, для



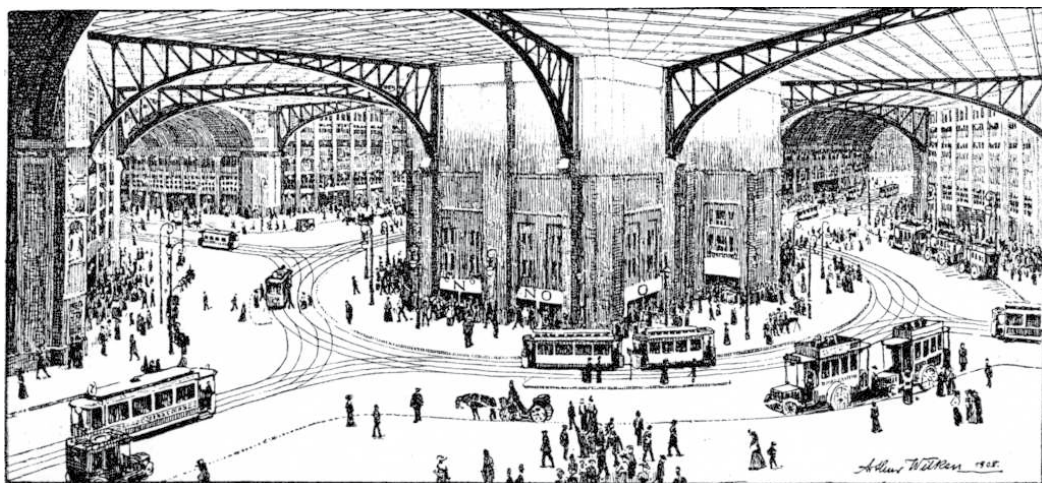


Рис. 11. Подъездная площадь центрального вокзала в большом городе.

вокзала новой системы движения получается ещё более важное и гораздо более ценное преимущество: не будет надобности в покрытии платформ навесами. Пассажиры будут в закрытой со всех сторон кабине вполне и гораздо лучше, чем под нынешними, всё-таки наполовину открытыми навесами, защищены от ветра и непогоды, и так как кабина своими дверями плотно прилегает к дверям вагона, то эта защита получается непрерывною.

Кабина представляет собой как бы кузов вагона, длиной около 30 м, и шириной от 3 до 4 м, который при помощи общеизвестных уже технических устройств может передвигаться в любом направлении. Посредине её, как и у среднего вагона каждого поезда, имеется в каждой продольной стенке по одной раздвижной двери, шириною в 3 метра. Точно так же и в каждом конце кабины имеется по две двери шириною в 1,5 метра.

Движение должно быть организовано таким образом, чтобы своевременно давалось знать: в поезде, о приближении к станции — посредством появления или освещения надписи с названием этой станции, вместе с колокольными сигналами во всех вагонах поезда, а в станционной кабине — о приближении поезда. Пассажиры, которые должны выйти на этой станции, собираются в описанном выше центральном помещении поезда, чтобы быть готовыми выйти из поезда ко времени прибытия поезда на станцию.

Тогда начинает функционировать кабина, причём должно быть принято за правило, что широкая дверь вагона служит всегда для выхода из него, а такая же дверь кабины — для входа в неё, и узкая дверь кабины для выхода из неё, а узкая дверь вагона для входа в него.

Сначала кабина находится в нижнем этаже вокзала и принимает там пассажиров, желающих отправиться с ближайшим поездом. За несколько секунд до прибытия на станцию поезда, кабина приводится в движение и поднимается, пока не установится непосредственно рядом с прибывающим поездом, причём на платформе кабина и поезд должны остановиться так, чтобы двери приходились против дверей. Затем раздвижные двери открываются, и в несколько секунд совершается обмен пассажирами; тогда поезд может отправляться дальше, а кабина в это время опускается опять вниз, выпускает своих пассажиров и снова готова к тому, чтобы принять новых. Целесообразное сочетание движения кабин и поездов приводит к особому устройству вокзалов новой системы.

Проще всего устройство вокзала в том случае, если линия проходит по насыпи за городом; служебные помещения располагаются тогда в насыпи, подобно казематам.

Совершенно другой вид представляет городской вокзал. В этом случае дорога не расположена на насыпи, а проходит над

домами по смелым сооружениям из железобетона. Соответственно этому и станции располагаются на высоте шестого или седьмого этажа, и станционные постройки могут быть весьма разнообразного вида.

Особый интерес представляет центральный городской вокзал. Величественно возвышается его круглое здание, занимающее целый квартал, в который впадают четыре главные улицы. Служащие для передвижения по улицам омнибусы, трамваи и экипажи отправляются на находящуюся внутри вокзала площадь, откуда непосредственно пассажиры пересекаются в лифты и отправляются далее. Таким образом, постоянным, непрерывным потоком проходит всё городское движение через центральный пункт всех путей сообщения. К платформам центрального вокзала подходят со всех сторон расположенные в виде лучей пути. Многочисленные лифты доставляют публику на уровень платформы, по возможности ближе к поездам. Уже в каждом лифте, чтобы лучше ориентироваться в его положении, имеется план в виде панорамы. На самих платформах помещаются большие вывески с указанием отдельных линий, что облегчает пассажирам возможность разобраться в своих маршрутах. Платформы должны быть достаточно просторны для того, чтобы вместить пассажиров при самом густом движении. По рис. 9 и 11 можно судить об оживлении, которое царит в таком центре городского движения.

До сих пор говорилось лишь о главных составных частях дороги новой системы, а именно о расположении сети и её оборудовании, но надо сказать ещё и о предстоящей её эксплуатации.

Она должна удовлетворять условиям не только современного, но и будущего движения. Совершенно неожиданно может оказаться, что новые условия движения вызовут и новые потребности, причём новая система дорог захватит новые области и даже благодаря ей возникнут новые населённые пункты. Если ограничиться лишь первой частью задачи, то вообще не было бы необходимости в слишком большом числе новых устройств, а дело сводилось бы лишь к некоторому развитию существующей эксплуатации.

Новые условия движения создают и новые сообщения

Подобно тому как дальновидный коммерсант не ограничивается старыми проторёнными путями и существующими рынками сбыта, но создаёт новые потребности и захватывает новые рынки, так и железнодорожные деятели должны стремиться к дальнейшему развитию сообщений. История железнодорожной техники на каждом шагу подтверждает правильность этого положения.

Теперь обратимся к тем мерам, благодаря которым новый способ движения может удовлетворить развитым выше требованиям. В данном случае должен иметь место следующий принцип:

Равномерность движения на каждой отдельной линии, полная гармония в движении на связанной в одно целое всей линии.

Ритмичности движения по какой-нибудь отдельной линии можно легко достигнуть, располагая места остановки через равные расстояния и отправляя поезда через равные промежутки времени. При таком способе движения поезда данной линии в один и тот же момент прибывают на станции и одновременно с них отправляются. Польза такого правила всеми признана и где только местные условия позволяют, ему и теперь всегда следуют. На стратегических железных дорогах строго проводится расположение станции на одинаковых расстояниях. Точно так же, например, можно усмотреть известную ритмичность и на многих пригородных к Берлину путях для противоположных направлений движения, где на большей части станций происходит скрещение поездов. Здесь в одно и то же время прибывают на станции поезда с двух сторон, и затем одновременно отправляются, чтобы через одинаковые промежутки времени прибыть на соседние станции для скрещения с другими поездами. Равномерность, существующая здесь в незначительных размерах, должна быть строго последовательно проведена в новой системе движения.

Для этой цели остановочные пункты на линиях главной сети должны быть распределены по возможности равномерно, а именно чтобы они отстояли один от другого на расстоянии около 20



километров. Почти всегда можно будет устроить станции в более важных пунктах линии. При этом можно будет взять на линии главные населённые пункты и исходить отсюда к подразделению линии, так как расстояние между станциями никоим образом не должно быть обусловлено непременно длиной в 20 километров, но соответственно местным условиям на различных участках могут быть допущены расстояния от 18 до 30 километров.

Напротив того, надо ещё раз подчеркнуть то, что уже соблюдалось при составлении проектов различных линий, а именно: в задачу дорог, предназначенных для быстрого передвижения на дальние расстояния, вовсе не входит непосредственное обслуживание населённых пунктов второстепенного значения, местечек, деревень и пр. Кроме более важных городов на главной сети, все остальные остановочные пункты и места примыкания к ней второстепенной сети должны быть сообразованы исключительно с условиями технического движения.

В этом отношении можно видеть нечто аналогичное уже и в современном положении железнодорожного дела. Ограничимся указанием лишь на то, что многочисленные узловые пункты на английских железных дорогах, которые представляют пересечение важнейших линий, являются, вообще говоря, сравнительно малонаселёнными пунктами. Для пассажиров эти станции столь же малоизвестны, как, например, в Германии — Корбета, Бебра, Крейензен, Бёрссум и пр., которые не имеют никакого значения, как населённые пункты, а между тем являются важнейшими узлами железнодорожной сети.

По той же причине и станции на линиях новой системы, представляющие пункты пересечения главной и второстепенной сетей, должны быть назначены совершенно независимо от важности их, как населённых пунктов.

Станции будущей дороги быстрого сообщения должны быть расположены через одинаковые расстояния

Для установления ритмичного движения было указано ещё на необходимость второго условия:

Поезда на линиях дороги быстрого сообщения должны следовать через одинаковые промежутки времени.

При этом соответственно значению линии расписания должны быть составлены с промежутками времени в 10, 15, 20, 30 минут. Следует назначать промежуток времени между двумя последовательными поездами так, чтобы он целое число раз без остатка содержался в одном часе. Это представляет то преимущество, что расписания составляются очень просто и наглядно и притом легко запоминаются. Такое преимущество останется даже и при полном удовлетворении необходимой эластичности движения. Если принять для какой-нибудь линии за норму получасовой промежутков времени, то в известное время дня или года (в последнем случае речь идёт об известном периоде движения), когда окажется необходимость, он может быть заменён промежутками в четверть часа, или даже в 7,5 минут.

При таком делении часа будет сохранён принцип не только равных промежутков времени, но и наглядности расписания.

Как для некоторых других подробно изложенных выше принципов, так и для этого последнего принципа уже до некоторой степени начало положено. На разных берлинских пригородных линиях, например, введено движение с получасовым периодом. В определённые часы суток и в известное время года движение уплотняется до 15-минутного периода, а в другое время оно разрежается до часового промежутка. Но то, что здесь имеется ещё в зачатке и притом представляет единичные случаи, должно для новой системы движения быть принято за правило. Такою же простотой, соответственно непрерывности движения и вследствие его ритмичности, будут отличаться также и книжки расписаний поездов новой системы. Основательно освоиться с книжкою расписаний в настоящее время можно лишь после специального довольно утомительного изучения её, между тем как книжка расписаний новой системы движения будет представлять простое изображение простого движения.

Развитая здесь во всех подробностях система движения не заключает в себе ничего не достаточно обоснованного. Всё, что в своей совокупности рассматривалось, как «новая система», представляет развитие су-

существующих сообщений в сторону «наименьшего сопротивления» как в техническом, так и в экономическом отношении.

После появления первой заметки о новой системе движения, со всех сторон стали поступать запросы о её доходности. На это можно ответить, что главной целью напечатанных статей было доказать техническую выполнимость изложенного в них проекта, финансовая сторона дела должна послужить предметом дальнейших исследований. История успехов техник показывает, что вопрос о доходности никогда не занимал первого места в ряду вопросов, возникавших при решении различных задач. Если бы Цеппелин в самом начале своих работ сразу же поставил на первом плане экономическую сторону дела, он едва ли достиг бы удачного осуществления своего открытия.

Но если рассматривать вопрос, и с другой точки зрения, то и тут окажется вполне основательным, что эта заметка не входит в расчёты доходности предприятия. При всяких обстоятельствах органической жизни существует между ними такое взаимодействие, что разного рода устройства, которые необходимы одно для другого, питают друг друга и вместе развиваются.

Один из великих людей последнего времени, который своими успехами обязан этой повсюду проявляющейся взаимной связи, Вернер фон Сименс по этому поводу чистосердечно высказался следующим образом:

«Мои друзья иногда упрекали меня в том, что при моих изобретениях, преследующих общепользные цели, я особенно подчёркивал те выгоды, которые они приносят всему человечеству, а между тем в результате сам извлекал из них громадную пользу. Но было бы несправедливо строить на этом возражение. Такие устройства, которые служат всему обществу, отвечая действительным потребностям и современным условиям, и которых удовлетворение давно уже назрело, в то же время всегда должны приносить выгоду и изобретателю, всегда осуществляются в виде доходного предприятия».

То, что старейший из германских электротехников говорит специально по поводу своих работ, точно также относится и ко всякому другому изобретению и вообще к каждому успеху в технике. Насущная потребность в коренном улучшении условий движения уже и без каких-либо деталь-

ных расчётов даёт возможность, согласно приведённым только что соображениям, с уверенностью заключить о доходности изложенного выше улучшения движения. Надо полагать, что новые средства сообщений поднимут благосостояние населения; уже это одно указывает на важное экономическое значение новой системы. Так как осуществить её, в противоположность постепенному развитию современных железных дорог, предполагается по одному общему грандиозному плану, то массовое производство требующихся для сооружения однообразных железных частей должно принять такие размеры, что можно будет ожидать значительного удешевления производства, а вместе с тем — и понижения расходов по сооружению дороги.

И настоящая потребность в новых дорогах наступит скорее, чем обыкновенно думают. Когда Август Шерль, лет 25 назад, по возвращении из поездки в Англию говорил, что и в Берлине следовало бы по примеру Лондона строить подземные дороги, то ему возражали, что ввиду высокой стоимости (погонный метр подземной железной дороги стоил около 6500 марок) в Германии это никогда не могло бы осуществиться. Однако теперь подземные дороги пронизывают Берлин вдоль и поперёк.

Проект Августа Шерля может показаться утопическим, но, при тех быстрых успехах, которые делает в последнее время техника, нельзя признать его невыполнимым, хотя бы и не в столь широких размерах, как полагает автор проекта. Осуществление его связано с коренной ломкой существующих железных дорог, технические условия сооружения и эксплуатация которых прочно установлены, и на постройку которых затрачены огромные средства. Кроме того, такое переустройство железнодорожных сообщений потребует столь больших капиталов, что из-за этого одного придётся ещё долго поневоле мириться со всеми недостатками существующих средств сообщений. Во всяком случае, этот проект заслуживает полного внимания уже и потому, что, освещая эти недостатки, намечает и способы их устранения.

Инженер К. Тихомиров
(Железнодорожное дело. — 1910. —
№ 13—14. — С. 77—85) ●





NEWS FROM THE ARCHIVES

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-211-244>



We reproduce an article first published in 1910 that describes in detail engineering projects, that were not only being developed but widely discussed. Those projects were dedicated to development of rapid, and particularly high-speed transportation in Berlin.

The developments of that time reflected broad engineering views. It seems to be an attempt to integrate into a single project all the promising ideas regarding technical advancements as well as optimal transport modelling, routing schemes, traffic organisation, urban spatial planning. The discussion touched upon radial and ring traffic system, integration of the urban transportation system into national and even global one, splitting of passenger and freight traffic and infrastructure, and engineering decisions have reminded about contemporary monorail, elevated railways, light metro, and even personal rapid transit systems... The article attracted attention in Germany, as well as in other countries, and was reproduced in Zheleznodorozhnoe Delo [Railway Business] journal. Probably, many described aspects besides historical ones might be of interest today as well.

Keywords: history of transport and transportation, passenger transportation, urban rail transport, urban transportation system, A. Scherl, overpass, elevated railway, monorail.

For the original Russian text of the article please see p. 211.

The editorial board expresses gratitude to the staff of the library of Russian University of Transport for the kind assistance in preparing the publication.

NEW HIGH-SPEED RAIL SYSTEM PROPOSED BY AUGUST SCHERL (PASSENGER TRAFFIC IMPROVEMENT PROJECT)

PART 1

Last year, Berlin newspaper Tag published a summary of a recently published note by the newspaper's publisher A. Scherl on a rapid passenger traffic system proposed by him. From the numerous letters received by the editors from subscribers of the newspaper, it became clear that the issue of improving passenger traffic in Berlin is of great interest to the inhabitants of this city and, therefore, meeting the wishes of its subscribers, the editors gave in a special supplement to the newspaper a more detailed description of this system, illustrated with pictures and drawings.

In no other city, to the same extent as in Berlin, is there an urgent need for an especially fast passenger service both within the city and for moving from it to other points, provided that it is hygienic and the convenience of communication meets modern requirements; this need is conditioned, on the one hand, by rapid growth of the city's population and the ever-increasing traffic, and on the other hand, by the special propensity for movement of the inhabitants

themselves. Thus, the Stadtbahn first appeared, which undoubtedly contributed to rapid development of Berlin; then Hochbahn was built, which, at first, was thought with horror, and would completely disfigure the city's streets, while in fact it laid the foundation for a number of new passenger traffic projects. They racked their brains for a long time over streamlining of mass movement in Potsdamer Platz and at other points and, as a result, limited themselves to only a few amendments; there was endless debate about whether to build a through underground road, or an elevated one, with its connection to street electric roads.

The implementation of August Scherl's idea of a high-speed single-rail railway with its central station and lines diverging in the form of rays – a road that will pass neither underground, nor above the streets, but above the houses of Berlin – will finally solve all the needs of communication in this world city. Perhaps they will object that this project belongs to a person who is not well versed, but such an objection

would be completely unfounded. First of all, it should be noted that his project was subjected to serious consideration by specialist technicians; then it should not be overlooked that it is often the simple, but true instinct of just such non-technicians who often owes success in the field of civilization of measures; finally, in this project, it is important that the author is a person with such a versatile education as August Scherl.

All the above considerations prompted the editorial staff of Tag newspaper to fully satisfy the interest of Berlin population in Scherl's project and to give a more detailed description of organization of the new high-speed transportation and its original organization, to which we now proceed.

Crisis in the current state of the railway business

«The hallmark of 19th century is the worldwide development of communications». These words of Emperor William were related to the current state of affairs, but they rather outline the tasks ahead than correspond to reality.

But in comparison with railways of other countries, in terms of both passenger and freight traffic, German roads have certain advantages that anyone who has had to, in one way or another, become better acquainted with international traffic, can appreciate.

However, such undeniable advantages should be countered with significant disadvantages. Without touching on the question of the possibility of any improvements, nevertheless, it must be admitted that passenger trains have too low speed. We will only mention in passing the torment that one has to experience when spending whole hours in a cramped, overcrowded compartment of a carriage; meanwhile, the main drawback due to which trains are jam-packed is that there are too few of them in circulation.

Thus, passenger traffic suffers from an insufficient number of trains.

For example, only three or four high-speed trains circulating between Berlin and Hamburg – passenger trains, of course, do not count in this case – all passengers who need to hastily move from one city to another gather. Thus, all distant communication is concentrated only in a few hours, and the rest of the day for such a communication is completely lost.

But weaknesses of modern movement even more make themselves felt in communication between any two provincial points. It may happen here that such two points, located not only in the same Prussian province, but even in the same district, turn out to be more distant from each other in terms of travel time than Berlin from Vienna or Amsterdam.

And this is not so much due to insufficient speed as from the unsatisfactory nature of the system itself. If by continuity we mean the consistency of all individual movements with each other, then we can say that organization of modern passenger traffic does not correspond to the condition of continuity of communication. Undoubtedly, on our roads more time is spent waiting for trains than the crossing itself.

In most cases, this is explained in history of development of the railway business. Before introduction of railways, all traffic was driven by a tug on ordinary roads, and the engine was a horse. Post carriages were used to transport passengers, and carts were used to transport goods. For both types of communications, they used the same road. With railway traffic, in this respect, everything remained the same: a new road with a rail track was built, and trains, both passenger and freight, began to move along it. This circumstance was the reason for unsatisfactory railway traffic. If the same road served for the post carriage and carts, then it does not at all follow that the same would be the case for railway traffic. However, this is in fact, and from here comes the overload of the line, which is the source of all evil. If the railway administration does not satisfy the request for introduction of a new train into circulation, then there may be two reasons for this.

Firstly, this happens because, in the opinion of management, the new train will not recoup the costs associated with its appointment; for the most part such an opinion turns out to be short-sighted, since can be considered as a natural law that a new means of communication creates new passengers. But more often, especially for main lines with busy traffic, in an explicit or hidden form, the reason for refusal is the already overloaded lines. At present, passenger traffic is directly suppressed by carriage of goods and is completely deprived of any opportunity to develop depending on modern traffic conditions.

Therefore, there is nothing surprising in the fact that passenger traffic does not at all satisfy all the requirements of modern life and can only serve them within the limits of available means. And yet, despite the fact that no measures have been taken in this regard, passenger traffic has recently been increasing annually, by approximately 5,5 %; if this continues in the future, then in 10–12 years it will double against the present, and then the existing organization of railway traffic will be completely untenable. Therefore, the main requirement for a new system should be the following:



Separation of passenger traffic from goods traffic and special organization of passenger transportation.

And the technical side of the modern railway business suffers from significant shortcomings, so there is an urgent need for fundamental reforms both in arrangement of rolling stock and in construction of roads.

The steam locomotive is one of the most uneconomical steam engines at our disposal. As a motor, it can be very lightly loaded. If it has to show twice the normal pulling force for a short time, then it reaches the limit of its power. Finally, speed of the locomotive is limited by strict limits. If we want to achieve a higher speed, it is necessary to increase the number of revolutions accordingly. But then additional efforts appear, due to acceleration and deceleration of the masses moving back and forth, and blows and vibrations they cause so significant that movement becomes uneconomical and dangerous. Even the advocates and supporters of steam locomotives consider speed of 100 versts to be the limit for the economical use of their power. For further development of passenger traffic, if necessary, the use of electric traction is required, the conditions of which are completely different, and, moreover, much more favorable. Due to skillfully applied constructive techniques and expedient organization of experiments, a special society, which set itself the task of studying the issue of high-speed roads, managed, even with modern means of technology, to design a carriage that was completely reliable for movement on short lines at a speed of 200 versts per hour.

Although at first glance, the transition to a system of high-speed railways seems to be technically resolved in the most brilliant way, nevertheless, after getting acquainted with the case, we have to conclude, unfortunately, that even from the technical point of view, only very small part of the task; it turns out that rolling stock, which was considered until now to play the most important and complex role in the present issue, must be opposed by another factor, to which very little attention has been paid so far, but which, however, could reduce to utopia all dreams of high speed road, if it remained unchanged in its present form; this is the problem of the track superstructure, the solution of which, although it seems, at first glance, easy, but turns out to be the most important and necessary condition for implementation of a high-speed road.

With modern arrangement of the track superstructure, a high speed road is not feasible

The reasons why this happens can be divided into two main groups. One consists in construction of the

lines itself, namely in laying the rail track, as a support for rolling stock, while the others arise from the circumstances that accompany deviation of the track from a straight line when the train passes along curves.

Already on a straight track at a speed of 200 versts per hour, oscillations that increase in proportion to the square of speed make maintenance of the track superstructure so expensive that it would seem that profitable operation is out of the question. On the curves, this is joined by barely surmountable technical difficulties, which have not yet been resolved quite satisfactorily.

The limit of achievable speed of movement is determined not by the type of rolling stock and driving force, as one would most likely expect, but by the features of the track consisting of a pair of rails. The question of speed is currently reduced to the question of a rational arrangement of the track, which still awaits its resolution.

In order to implement a high speed road, the old system must be completely abandoned. While the study of traffic on current railways implies the above first condition for a new organization of passenger traffic, from consideration of the technical side of the existing system, the following inevitable second basic condition is obtained:

Replacement of the existing double-rail track for high speed road with a special track system.

It is necessary to find a track arrangement that would ensure passage of trains both along straight sections and along curves, at a speed of 200 versts per hour.

Executing a new system

A perfect communication system is required to move with the least amount of time and motive power. To achieve this goal, in addition to high speed of movement of individual trains, it is necessary to satisfy two other conditions that represent the concept of continuity of movement.

Uniform circulation of trains often following one after another on separate sections and bringing into mutual communication along one common system of separate movements in different sections.

The new system should be based on the principle of continuity, in which various individual movements are in a rational organic interdependence with each other and serve their regions quite satisfactorily. A living organism can serve as a model for a new organization of communication, and just as the whole body is penetrated by strong beating veins, radial arteries and the finest veins, such communication must be organized rationally and purposefully. As the blood circulating in the

body with a special force pulsates between the main more important organs, but at the same time fresh blood, flowing constantly through the networks of the second and third order, reaches the most distant parts of the body, so that nowhere there is a break in the mutual connection established between them and the inflow of vital juices to them stops, in the same way the correct currents should be established in the new system of communication and constantly maintained. Thus, the first position for the new system is obtained:

Railway network with sparse loops for fast long-distance connections between major centers.

Such a network of long-distance communications, through which trains circulate at a speed of 200 versts per hour, forming part of the new organization, satisfies the need for communication between the main settlements, but this is still not enough for communication in the future. The continuity of movement requires that for the spaces enclosed within the loops of this network there is an exit to it, so that from these spaces passengers constantly flow to the main arteries of the network and back from these arteries to the places located inside the loops of the network. From this requirement follows the second provision for new organization of communication:

The system of access networks must supply long-distance roads.

Loops of weaker movement should be adjacent to the main arteries of traffic, i.e. the main network, at a speed of 200 versts per hour, will be adjoined by a network of the second order, from secondary roads, with a speed of 120 to 150 versts per hour, and, in turn, an even more frequent and ramified network of access railways will join it roads, at a speed of 50 to 60 versts per hour, and, finally, the last branches will approach it, which can be likened to the roots feeding a tree, namely, bus lines covering all villages and settlements, and taking each passenger almost from his own house.

Buses deliver passengers on third-order lines, along which there is a continuous flow of passengers collected in this way to the nodal points of the second-order network and, finally, traffic along it is even more intensive to the main arteries, i.e. lines of the original, main network.

Thus, a systematic delivery of passengers will be established, the essence of which is that each train, upon its very arrival at the station, corresponds to another, for immediate further departure of passengers.

Traffic on this kind of hub-and-spoke network offers great benefits. With a reasonable arrangement

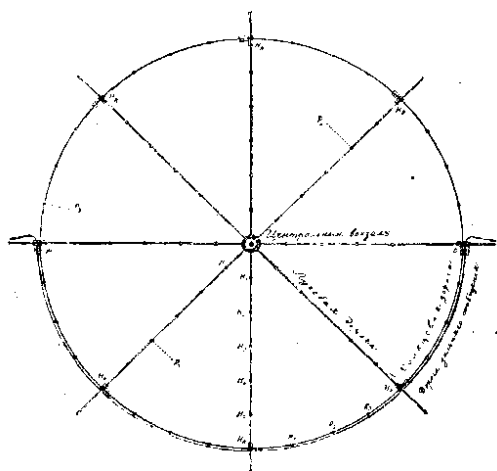
of nodes, all stations in the second-order network will be served in much the same way as stations in the main network, and, in any case, much better than with current organization of traffic.

When organizing a new communication system, special attention should be paid to large cities. In view of the fact that railways approach them with a speed of 200 versts hour, all communication devices in large cities should be considered as means for transporting the world traffic to the network, delivering passengers to it from every street and even from every house. But regardless of this, there remains an independent movement within a densely populated city, and technology has to solve the important task of organizing a very intensive urban traffic.

Something has already been done in this direction. In many cities with a population of millions, there are two completely separate networks: a network of street roads, for communication between groups of streets, and a network of elevated or underground roads, for quick communication between city blocks. But here the communication arrangement, both in its organization and in respect of technical methods, has reached an extreme limit, and every railway technician will be horrified, imagining what the street traffic will reach in Berlin by 1920, if it continues to develop in the same way, like so far. That it is necessary to get out of this situation, the city administration is fully aware, and the fact that they do not stop before the multimillion projects.

The new system should give several networks of different meanings, but at the same time, such networks must be so frequent and so conveniently located that they really fulfill their purpose, and this is far from the case in Berlin. True, here street roads have, indeed, developed into a frequent network of secondary roads, but the main rapid city traffic network leaves much to be desired. Few of the lines cut through the four square miles that occupy the main city, and these lines are so difficult for most residents to get to that they prefer to travel all the way in carriages on street roads that should, however, only serve as access roads. Here it is necessary to change the whole organization, namely: to introduce a rational system in which the periphery are connected by radii with the centers. To provide a known area by means of communication, two systems can be proposed: with intersection of lines at right angles and radial. An example of the first system is the elevated roads in New York. There, a whole system of parallel lines runs along the oblong Manhattan Island, on which New York is located,





Pic. 1. New radial-peripheral system of railway traffic in a big city.

and another row of roads goes across, so that the railway lines, crossing each other, form fairly regular quadrangles. Such a system in special cases, as is the case in New York, may be quite suitable, but still, in general, one should strongly prefer a system with lines located along the radii and circumference.

In this case, a circle-shaped line will pass around the entire given space — a peripheral or ring road, and from the central point of this space they are drawn to the road circumference in the directions of the radii. In principle, such a system does not represent anything new, and in the history of Berlin railways one can find successful attempts in this direction, but, as often happens, further development was hampered by all sorts of side considerations, and the initial projects were subsequently completely distorted.

With correct system of movement, transfer of trains from radii to the ring and vice versa should not be allowed, so that movement along the ring should be completely independent, moreover, the radii leaving the city center by which the ring is divided into equal arc lengths, crossing it, pass either over, or under it, and movement, according to local needs, can be different at different radii.

Thus, roads leave the city center in all directions in the form of rays, and at a distance of 7–10 km they meet a ring road. At two diametrically opposite stations of the ring road, there should be stations for long-distance roads, and at one of them all trains arrive from north and west, and to the other from south and east. Both long-distance stations, of course, must also be connected with each other by

a special half-ring. Both on radial roads and on the ring, stations should be arranged at a distance of 1 km from one another. In large cities, as they develop, suburban concentric rings with the first can be built, and the ray roads will need to be lengthened accordingly. Suburban ring roads should be built on embankments.

According to the attached drawing (Pic. 1), it is possible to visually trace the passenger's path along the «radial-peripheral» road of a large city. It gets, for example, as shown by the dotted line, from point P_1 to the station of the ray road, travels along this radius to the middle of the city, from there goes along a different radius and arrives at the desired point P_2 . If a passenger needs to get to point P_3 , then it is better for him to go along his radius to the ring, along which he will reach the corresponding station, from where he will arrive at point P_3 . With such an arrangement, it is easy to get to long-distance roads from each point of the urban area between both long-distance railway stations, and thus, due to the radial-peripheral system of urban roads, the entire city territory becomes, as it were, one huge long-distance railway station.

When moving from any point in Germany A to another point B , with the organization described above, you can take for long trips on main lines, an average speed of about 140 km per hour, and then from Berlin it will be possible to reach the most remote places by the border of Germany in no more than 6 hours. Thus, even in relatively rare and unfavorable cases, the entire business trip — with travel back and forth — will take only one day. For most cases, travel time will be further reduced. On average, it is necessary to count 4–5 hours for such trips, which now take a whole day. This significant reduction in travel times, achieved with a new, strictly logical organization, represents a very important improvement in communications and makes travel extremely easy.

But the history of communications clearly proves to us that every improvement in communications entails development of movement. Thus, the benefits of the new organization will increase intensity and density of movement. Therefore, the following very likely result of this development of communications can be foreseen: the new organization will reduce growth of communication within the country to simple local communication.

(Zheleznodorozhnoe Delo [Railway Business], 1910, No. 11–12, pp. 51–55) ●

NEW HIGH-SPEED RAIL SYSTEM PROPOSED BY AUGUST SCHERL (PASSENGER TRAFFIC IMPROVEMENT PROJECT)

PART 2

Trains of the new system

To implement the new system with its very fast train movement, it is necessary to have such a rolling stock, at which it is not only possible to develop the required speed of 200 km per hour, but also to achieve even greater safety and convenience of movement than on existing railways. This requirement makes it absolutely necessary to change the existing structure of railways and in the transition to a simpler type of railway track.

Instead of a two-rail track, a single-rail track should be used for a high-speed road.

The advantages of the single-rail track were known before they found a way to reach the desired goal, but before reaching it, a number of attempts were made, sometimes unsuccessful. From the numerous projects of single-rail roads, which in fact are two-, three- or even five-rail and could never supplant the exclusively dominant now double-rail road, a real single-rail road differs in a significant way, in which the disturbed equilibrium is immediately automatically restored, and the resultant of all the forces applied to the carriage at each moment passes through the rail*. With a real single-rail road, no special guiding devices are required for this, and equilibrium is ensured by a device placed in the rolling stock itself; at the same time, the car is a completely independent whole and does not need, except for a single rail, any supports and guiding devices (Pic. 1).

The automatically operating apparatus for imparting stability to rolling stock mainly consists of a rapidly rotating top of a special device, the

gyrostatic moment of which is applied so that at every moment it destroys the forces tending to overturn the car.

The ability of the top to guide and impart stability to the car has long been known in technology, and already about thirty years ago, attempts were made to give stability to a body in unstable equilibrium with the help of a rapidly rotating top. In recent years, a number of designs have appeared, which, however, have not achieved practical results. In 1907, the Englishman Brennan** managed to build the first model of a single-rail car.

German technicians are well aware that many in Germany are also working on solving this problem.

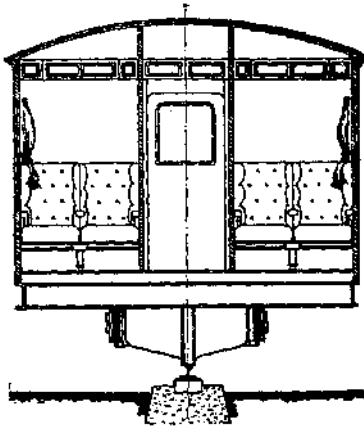
At the present time, a detailed study of bringing rolling stock to a stable position using a gyrostatic device has been organized there in special experimental workshops. Certain results have already been achieved, and further experiments will be carried out in the form of a special technical enterprise on widely stated financial grounds and on a broader scale. Although their technical results cannot be known until the end of experiments, nevertheless, now it can be positively asserted that a real single-rail rolling stock already exists in reality, and thus there is already a means to successfully implement a new organization of communications. The transportation means of the new system is a single-rail car, which is brought to a stable position by a gyrostatic device.

With such a rolling stock, the advantages of a single-rail track are combined with the benefits of electric traction, and not only slowness of current communications is eliminated, but also

* About single-rail roads of other systems and types see «Zheleznodorozhnoe delo»: 1885, p. 272; 1886, p. 9; 1887, p. 33; 1890, p. 112; 1891, p. 491; 1893, p. 298; 1896, p. 135; 1897, p. 499; 1900, p. 12; 1901, p. 119, 148, 492; 1902, p. 31; 1909, 81d, 141d and 213d. — *ed. note.*

** See «Zheleznodorozhnoe delo» 1909, p. 81d: «Single-rail hydrosopic railway of Louis Brennan». Report of P. A. Yushchenko. — *ed. note.*





Pic. 1. Cross-section of a car of a single-rail railway.

their inconvenience for passengers. In addition to the fact that the use of a single-rail road ensures a completely quiet train ride and the absence of car vibrations, passengers do not get tired due to knocking and shaking, and, moreover, they are not at all shy in their movements and actions. Instead of wasting several hours during which transfer takes place, the passenger can be in a separate compartment, furnished with the usual comfort, and with complete convenience to go about their business.

Under normal conditions, due to simplicity of arrangement, which gives the car stability, its operation cannot be terminated. And if for some reason electric current is interrupted, then the top, due to the acquired «live» force, will continue to rotate long enough to slow down the train. When speed of rotation of the top is reduced to a certain limit, special wheels that support the car on both sides are automatically lowered. Most of the load is, of course, transferred from main wheels to the rail, while side wheels only serve to compensate for the eccentric load. No matter how many and what separate components the train of the new system consisted of, the following principle is always observed:

Each train is an independent separate unit.

The carriages of the new system should have the character of a hotel, and during the trip, the passenger is not forced to abandon his usual lifestyle, and he should be given full opportunity to use this time for his studies. Particular attention should be paid to the food part and the necessary facilities for writing and reading. In the central part of the middle car of the train there is a common hall, the technical purpose of which will be discussed below. While the train is moving, it gives to passengers a kind of hotel lobby; in the

middle there is a special bureau in which the railway agent is located. If we compare a moving train with a small, completely isolated city, then we can call this bureau, as it were, a center in which all social life is concentrated. The agent located in the bureau, like a porter at the hotel, issues all the necessary information about the upcoming junction stations, about time of arrival of the train at one or another station, etc. He has at his disposal short schedules of trains in circulation on the sections in front, and, here, as in other places of the train, a visible from a distance, and if necessary, a well-lit station name appears when a train approaches it at a certain distance; here you can also get the latest newspapers and magazines along the route. If the line for railway traffic is equipped with a wireless telegraph, then it will also be possible to send and receive telegrams here. While the train is parked, the agent no longer bears these responsibilities, but disposes of reception and release of passengers from the train in the manner that will be specified later.

Track of the new system

A fully expedient track arrangement must also correspond to the improved rolling stock. At the same time, other conditions arising from the features of the new system are added to general requirements for any railway and detailed at the beginning of this article. When implementing the new system in full throughout the country, it is necessary to sharply delimit it from all other aspects of public life. There is no need to dwell on the fact that the new road, with its tremendous speed of 200 km per hour, can in no way be located among other means of communication. Its track should be completely separated from everything around it, it will be possible to get on it only at stations and other stopping points, and therefore crossing at the same level with any other tracks, crossings and transitions should not be allowed. A passer-by will not have time to read to the end the posted notice warning of the danger, as a strong jet of air from a fast-moving train will carry it away or throw it aside. Thus, both unwary people and intruders should be cut off from any opportunity to get on the track. Therefore, of course, the following requirement must be met:

New high-speed railway should be laid at the ground level.

In most cases, it will be necessary to build it in the form of an elevated railway passing over all other roads, construction of which under the

railway bed will not present any difficulties for modern technology.

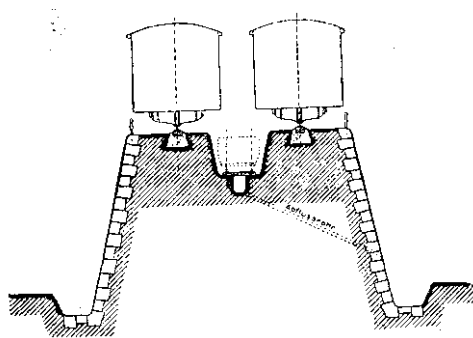
The technical side of foundation of the road and in particular the choice of building materials may vary depending on local conditions. In all cities, and in more populated areas, for example, in industrial centers, in places where coal is mined, in general, everywhere where the cost of land is very high, when constructing a railway bed, you will have to give preference to iron structures.

In general, this issue of arrangement of the lower structure of the road is a purely financial problem, and there will hardly be any difficulties in resolving it from the technical side. This or that decision in each individual case must only satisfy the conditions that have been detailed above. The substructure must be reliable enough to take on the load from rolling stock, and present such an arrangement so that movement on the new road at high speed is better than the current barriers and fences from access to the track of people and animals.

The transverse profile of the superstructure is also important. When constructing it, attention should be paid to all the needs of operation, and in particular to inspection and correction of the track, and it is necessary to be able to go around and inspect the track without stopping movement along it. It goes without saying that the currently existing method of inspecting the track along which railway agents pass on railway cars cannot take place; on the other hand, there is nothing to say about how much the most careful inspection of the track will be necessary here. And now broken rails, loose bolts and crutches and other shortcomings are sometimes the cause of accidents on railways, and at very high speeds on future roads, they can lead to even more terrible disasters. With the new system, complete traffic safety is absolutely necessary, and the technology has all the means necessary to achieve this goal.

In view of these requirements, the cross-section of a high-speed railway should be significantly different in appearance from the currently used types.

In order to protect agents inspecting or correcting the track from a strong jet of air during the passage of the train, the profile should be given a special shape. It doesn't matter whether it is an iron structure, or an earthen embankment, in the middle of the railway bed, it is necessary to make a depression about 2,5 meters wide and 1,5 meters deep, and in it lay an auxiliary track, movement along which will be carried out with the help of



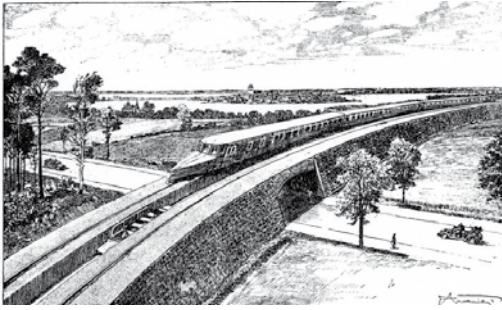
Pic. 2. Cross-section of the embankment at the haul between stations.

batteries or gas engines. This device with a single-rail track can be made without increasing track width, since the distance between both rails of main tracks should be slightly larger than the carwidth, i.e. about 4,5 meters. The auxiliary track should be equipped with cars with jacks, tools, etc. The same auxiliary car must have a room for 6–8 people.

Due to traction with the help of batteries, these cars are completely independent of delivery of driving force from the outside, and therefore, when the current stops, due to a short circuit somewhere in wires or in case of suspension of work at the central station, in terms of passenger safety, auxiliary cars still retain full ability to move along the service track. In any case, damage to the track will be able to quickly deliver the required number of workers, tools and materials to the site and make repairs with complete safety, even without stopping movement. In addition to the auxiliary cars, cars for agents who must constantly carefully monitor the condition of tracks move along this service track. These agents can comfortably sit in a slow moving carriage and inspect the right and left tracks using mirrors located on the service car and appropriately protected from the effects of weather.

To meet the above considerations and requirements, it is necessary to give the roadbed the appearance shown in Pic. 2 and 3. Pic. 2 shows a cross-section of an earthen embankment with stone retaining walls. In Pic. 3 the same embankment is shown in perspective. In both pictures, you can see a channel-shaped notch in the embankment with almost vertical walls, as well as a service car. So that rain and snow do not hinder movement in this recess, a drain pipe is arranged in its lower part, from which rainwater and from melting snow are diverted into a channel located next to the embankment by transverse





Pic. 3. General view of a single-rail road at the haul between stations.

pipes. In Pic. 2, you can clearly see both the drain and the side outlets. However, the rails of the auxiliary track in this groove must be located at such a distance from its bottom that snow can cover them only in very rare cases. On the city's elevated air roads, the observation channel may not be arranged.

On the roads of the new system, there must be special devices to ensure traffic safety. At a very high speed, the track signals should be transmitted to the person driving the train, or, even better, signals of both kinds should be combined with each other, i.e. track signals with train signals. Then traffic safety should be increased by organizing responses to the received signals, by means of which the driver, immediately upon receiving the signal, must transmit it back to where it received it. This principle is now already applied in cases where movement is associated with special responsibility, for example, when transmitting orders on sea vessels; each driver, before executing the order received in the engine room, is obliged to telegraph it back to the captain's bridge in order to certify that he correctly understood the order received. This return of the order guarantees complete safety, since the current supplying the motors will be immediately interrupted if the driver does not return the received signal.

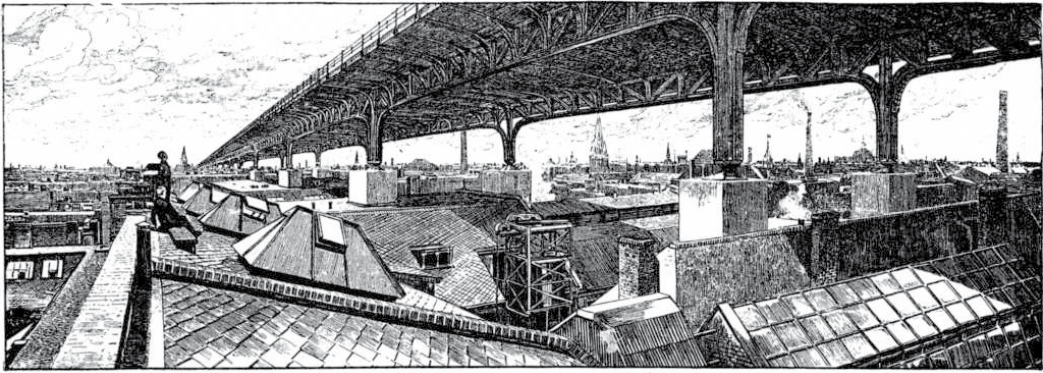
It is also necessary to say here about a special type of a track, namely about its arrangement in cities, in areas built up with houses. Currently, three types of roads are used for rapid communication in cities: elevated, located directly below the level of the pavement and underground. From an economic point of view, of these three types, the first is the best, as it is used in Berlin, Paris and New York, but it has significant disadvantages, namely: this type of railway obscures the streets over which

it passes and besides, it very much disturbs the inhabitants with its noise. Indeed, now elevated roads are allowed only on particularly wide streets, with a boulevard in the middle, and therefore their use is very limited. In those parts of the city where this type cannot be applied, on the European continent they resort to railways located below the surface of the pavement. With this type, the appearance of the streets does not suffer, but the construction of such roads is very expensive, namely: with special technical difficulties in their construction in Berlin, a running kilometer of these roads costs about 10 million marks, while the cost of a kilometer of an ordinary elevated road is only 1,5 million marks. It would be possible to reduce to some extent the disadvantages of such roads by running them in suburban areas along wider streets, in trenches open from above, i.e., removing the upper part of the tunnel, fencing these trenches with gratings, but this would create new technical difficulties and the appearance of the streets will suffer. Moreover, even if one does not attach importance to the latter circumstance, nevertheless, roads of this type will still have a fundamental drawback, which is also characteristic of elevated roads and consists in the fact that they must follow the direction of the streets, which is why the location of the railway in the plan is very embarrassing.

The latter inconvenience can be avoided only when using an underground railway, but here construction costs are even more significant, not justified by subsequent operation; for example, it must be assumed that the cost of building underground roads in London will never pay off.

The new system makes it possible to build such a road for rapid urban traffic, which, in technical, economic and aesthetic terms, must be recognized as directly ideal.

The railway lines of the new system in cities will run high above the houses. Since movement of trains will take place almost without shocks, and, consequently, will not produce noise, it turns out that something that could not be achieved with the systems existing until now: it will no longer be necessary to hide the road deep underground; at the same time, there is no need for the railway to run in the direction of streets and, with its more or less massive iron structures, deprive the streets of some of air and light. Quite apart from the often very winding



Pic. 4. Aerial elevated road in a big city (bottom view). It will go in a straight direction over the houses. The track laid on the viaduct will be at such a height that the beauty of the city will not suffer at all. Trains will rush over the city with terrible speed, without making any noise and without causing shaking in buildings, since the viaduct is a completely independent structure and the columns supporting it, have their own foundation, are completely separated from the masonry of the surrounding buildings. The usual conditions of life and activity in cities and suburbs will not be in the least disturbed by construction of this road, along which, barely perceptible for sight and hearing, trains will run quickly. The road will go so high above the houses that it will not block the light at all and interfere with the flow of clean air. Thus, the elevated aerial road will most successfully resolve the issue of eliminating all the shortcomings of the modern train movement system.

street shapes that the current elevated roads must follow, the lines of the new city road – the elevated aerial road – will run over the rooftops along the shortest overhead line. The method of building such lines can be judged from Pic. 4 and 5.

Slender reinforced concrete columns will pass through the houses, being completely separated from the walls of the buildings and resting on special foundations deeply buried in the ground, and these columns will support the viaducts; Pic. 6 shows a sectional view of a residential building with a column of elevated aerial road.

The space occupied by a reinforced concrete pillar is already not large, but in addition, as you can see in the picture, you can make the pillar empty inside, with an elevator device and a spiral staircase around it. And now, at every step, you can find various combinations of railway lines with residential buildings. There is no need to turn to American railways for examples, since similar cases can be pointed out on Berlin Highway and Underground Railways. So, for example, Pic. 7 represents the underground road under the F rstenhof hotel, and Pic. 8 shows a railroad-cut house on Dennewitz Strasse.

Railway stations of the new system

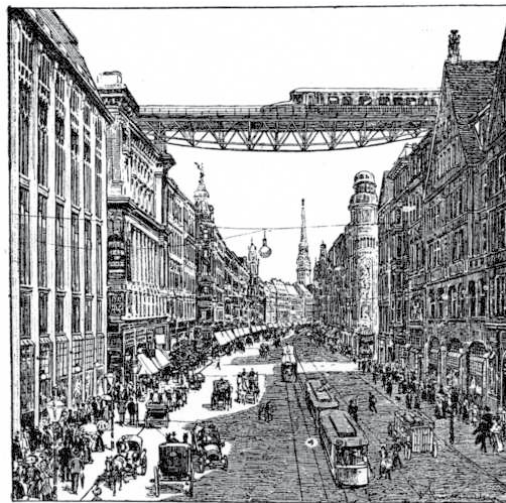
On railways of the new system, with new rolling stock moving along a new track arrangement, of course, the stations should also differ in appearance from the existing ones on the current roads.

An ordinary station of a modern railway is a building in which, in addition to office, baggage

and other premises, there are also halls for passengers waiting for the train, with buffets. Platforms adjoin the passenger building, which are covered with special sheds to protect passengers from weather.

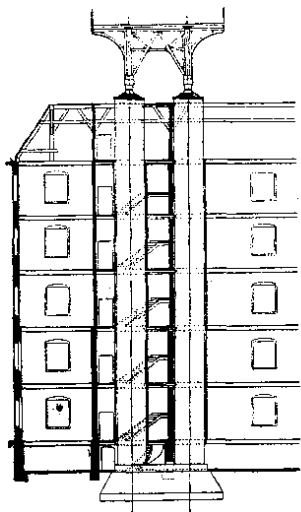
But everyone is well aware that such canopies do not reach their goal far, and passengers, while waiting for a train, being in more or less open rooms, suffer from cold and through wind, and at small stations there are no canopies at all, so passengers are completely unprotected and from the rain.

The stations on the railway of the new system are supposed to be arranged so that it will be possible to avoid both the above and various other

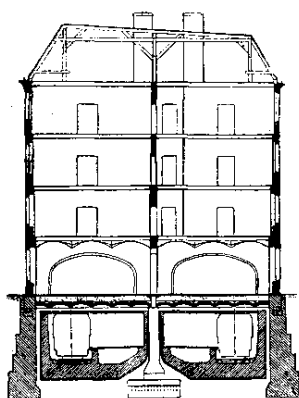


Pic. 5. Crossing the street of a big city with an elevated aerial road.

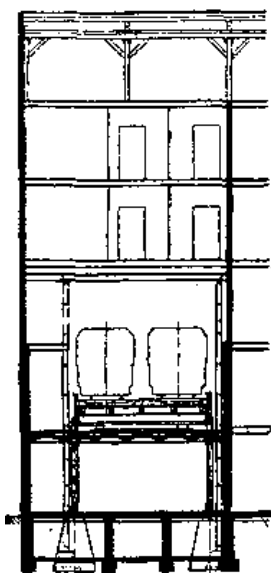




Pic. 6. Aerial elevated railway in a big city.



Pic. 7. Berlin underground railway under the hotel Fürstenhof at Leipziger Platz.



Pic. 8. Berlin elevated railway at Dennewitz Strasse.

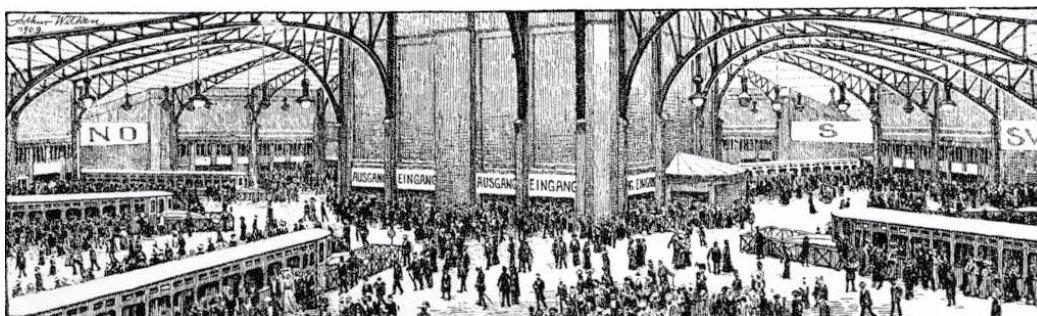
inconveniences. At the now existing railway stations, the passenger, after purchasing a ticket, has to find the train with which he should travel. Upon arrival of the train at the station, passengers immediately leave many doors, which is especially noticeable during mass movement between Berlin and its suburban areas on Sundays. There is a real dump on the platform; some rush to the exit, others are looking for a train to which they must change.

In the end, it is true, the necessary and desirable currents of passengers are established, but at the beginning, everyone scurries back and forth and collides with each other. Getting off the train and getting into the carriage for each passenger separately is not only difficult, but sometimes even fraught with danger. A radical reconstruction of passenger buildings is positively necessary.

Thanks to the new organization, a significant simplification of arrangement of stations will be achieved. The introduction of a strictly continuous movement will entail a reduction to a minimum of time that has to be spent waiting for the train; due to this, it will be possible to give significantly smaller dimensions to passenger halls and pantries. There will be almost no need for passengers themselves in these rooms, since they will not have to wait for a train for long, and, moreover, on the way they will be able to receive good food for an inexpensive price. Such premises are more likely to serve for persons accompanying passengers than for passengers themselves, and, therefore, in their size they will be much smaller than now. Therefore, at the stations of the new system, mainly only such devices will remain, which are necessary for movement itself.

This is followed by one of the most important principles, which is that all the flows of passengers, which now, as has just been said, intersect with each other, should be brought into a systematic form and organized in such a way as to completely eliminate all kinds of collisions and wasting time and friction energy. Most likely, this can be achieved by limiting independent movement of individual passengers as much as possible. Instead of arbitrary movement of individual passengers, mechanical movement of them in whole groups is established.

At the same time, on the one hand, the desired general movement of all passengers is achieved, and on the other hand, mechanical movement with the help of elevators, movable platforms and other similar devices, and conservation of power,



Pic. 9. Platform of a central railway station in a big city.

since then the need for running, walking on stairs completely disappears, etc.

The implementation of these theoretical considerations in practice necessitates introduction of a constructive element for the stations of the new system, for the definition of which you can use the word «cabin».

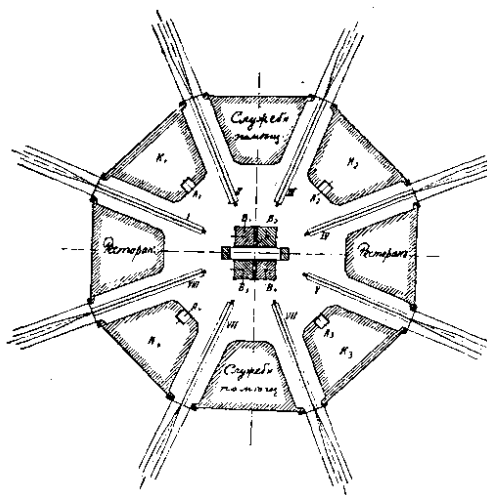
The «cabin» is an improved and modified elevator that transfers passengers from the entrance to the station directly to the train and in the same way from the train to the exit from the station. It must have all the necessary devices in order not only to serve as an elevator in the vertical direction, with movement up and down, but also to be suitable for horizontal longitudinal movement.

The entrances and exits of it, correspond to the exit and entrance doors of the middle carriage in the train, are arranged so that both flows of passengers, namely, both those leaving the cabin to the train and those moving from the train to the cabin, do not collide or interfere with each other in any way. This requirement for a strict separation of passenger flows then determines the size of the cabin. Its main purpose, consisting in mechanical supply of passengers directly to any train, will further lead to the fact that the platforms will be completely free of the public, and they will be used exclusively by railway agents. Such a device provides the public with complete safety from all kinds of accidents during arrival and departure of trains. Further, for the station of the new traffic system, an even more important and much more valuable advantage is obtained: there will be no need to cover platforms with canopies. Passengers in a cabin closed on all sides will be completely and much better than under the current, still half open canopies, protected from wind and bad weather, and since the cabin with its doors tightly adheres to the doors of the carriage, this protection is continuous.

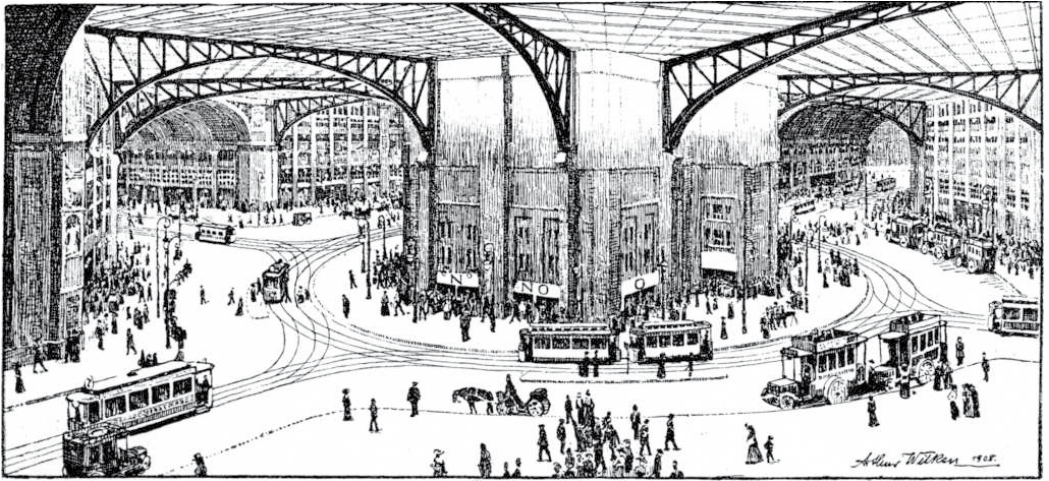
The cabin is like a car body, about 30 m long and 3 to 4 m wide, which can be moved in any direction with the help of well-known technical devices. In the middle of it, as in the middle car of each train, there is one sliding door in each longitudinal wall, 3 meters wide. Likewise, at each end of the cab there are two doors, 1,5 meters wide.

The movement should be organized in such a way that it would be known in a timely manner: on the train, about the approach to the station – by appearance or illumination of an inscription with the name of this station, together with bell signals in all train cars, and in the station cabin – about the approach of a train. Passengers who must get off at this station gather in the central train room described above so that they are ready to get off the train when the train arrives at the station.

Then the cabin begins to function, and it should be taken as a rule that a wide car door always serves to exit from it, and the same cabin



Pic. 10. Location of a platform in the plan.



Pic. 11. Access square of a central railway in a big city.

door is used to enter it, and a narrow cabin door is used to exit

First, the cabin is located on the ground floor of the station and receives passengers there who wish to travel with the next train. A few seconds before the train arrives at the station, the car is set in motion and lifted until it is installed directly next to the arriving train, and on the platform the car and the train must be positioned so that the doors are opposite the doors. Then the sliding doors open, and in a few seconds, an exchange of passengers takes place; then the train can go on, and the cabin at this time goes down again, releases its passengers and is again ready to receive new ones. The expedient combination of movement of cabins and trains leads to a special arrangement of stations of the new system.

The easiest way to set up a station is if the line runs along the embankment outside the city; the service rooms are then located in the embankment, like casemates.

The city station presents a completely different view. In this case, the road is not located on an embankment, but passes over the houses along bold reinforced concrete structures. Accordingly, the stations are located at the height of the sixth or seventh floor, and station buildings can be of a very diverse type.

The central city station is of particular interest. Its circular building rises majestically, occupying an entire block, into which four main streets flow. Omnibuses, trams and carriages serving for movement on the streets go to the square located inside the station, from where passengers directly change to elevators and go further. Thus, in a constant, continuous flow, all city traffic passes

through the central point of all communication routes. Beam-shaped tracks approach the platforms of the central station from all sides. Numerous lifts bring the public to platform level, as close to the trains as possible. Already in each elevator, in order to better navigate in its position, there is a plan in the form of a panorama. On the platforms themselves, large signage indicating individual lines is placed, making it easier for passengers to understand their routes. Platforms should be large enough to accommodate passengers in the busiest traffic. Using Pics. 9 and 11, one can judge the excitement that reigns in such a center of urban traffic.

Until now, only the main components of the road of the new system have been discussed, namely, the location of the network and its equipment, but it must also be said about its upcoming operation.

It must meet the conditions of not only modern, but also future movement. Quite unexpectedly, it may turn out that new traffic conditions will cause new needs, and the new road system will capture new areas and even thanks to it, new settlements will arise. If we confine ourselves to only the first part of the task, then there would be no need at all for too many new devices, and the matter would be reduced only to some development of the existing operation.

New traffic conditions create new communication

Just as a far-sighted merchant does not confine himself to the old beaten path and existing sales markets, but creates new needs and conquers new markets, so railway leaders should strive to

further develop communications. The history of railway technology at every step confirms the correctness of this position.

Now let us turn to the measures by which the new mode of movement can satisfy the requirements developed above. In this case, the following principle should take place:

Uniformity of movement on each separate line, complete harmony in movement on the whole line connected into one whole.

The rhythm of movement on any single line can be easily achieved by placing stops at equal distances and sending trains at regular intervals. With this method of movement, trains of a given line arrive at the stations at the same moment and simultaneously depart from them. The benefits of such a rule are recognized by all and where only local conditions allow, it is now always followed. On strategic railways, the location of the station is strictly maintained at equal distances. In exactly the same way, for example, one can see a certain rhythm on many suburban tracks to Berlin for opposite directions of movement, where trains cross at most of the stations. Here, trains from both sides arrive at the station at the same time, and then simultaneously depart to arrive at the neighboring stations at regular intervals to cross with other trains. The uniformity that exists here on an insignificant scale must be strictly consistently carried out in the new system of motion.

For this purpose, stopping points on the lines of the main network should be distributed as evenly as possible, namely, so that they are spaced from one another at a distance of about 20 kilometers. It will almost always be possible to set up stations at more important points on the line. In this case, it will be possible to take the main settlements on the line and proceed from here to subdivision of the line, since the distance between the stations should in no way be determined by all means 20 kilometers long, but according to local conditions, distances from 18 to 30 kilometers can be allowed in different sections.

On the contrary, it is necessary to emphasize once again what was already observed in drafting of various lines, namely: the task of roads intended for rapid movement over long distances does not at all include direct service of settlements of secondary importance, townships, villages, etc. more important cities on the main network, all other stopping points and places of adjoining to it of the secondary network must be adapted exclusively to the conditions of technical traffic.

In this respect, one can see something similar already in the current state of the railway business. We will confine ourselves to indicating only that the numerous junctions on British railways, which represent the intersection of the most important lines, are, generally speaking, relatively sparsely populated points. For passengers, these stations are as little known as, for example, in Germany – Corbeta, Bebra, Kreienzen, B rsum, etc., which do not have any meaning as settlements, but meanwhile are the most important nodes of the railway network.

For the same reason, the stations on the lines of the new system, representing the points of intersection of the main and secondary networks, should be appointed completely regardless of their importance as settlements.

The stations of the future fast track should be located at equal distances

To establish a rhythmic movement, it was also indicated that the second condition is necessary:

Trains on fast track lines must follow at regular intervals.

In this case, according to the value of the line, the schedule should be drawn up with time intervals of 10, 15, 20, 30 minutes. The time interval between two successive trains should be set so that it is contained an integral number of times without a remainder in one hour. This presents the advantage that the schedules are very simple and clear and, moreover, are easy to remember. This advantage will remain even when the required elasticity of movement is fully satisfied. If we take a half-hour interval of time for some line as the norm, then at a certain time of the day or year (in the latter case, we are talking about a certain period of movement), when the need arises, it can be replaced by intervals of a quarter of an hour, or even at 7,5 minutes.

With such a division of the hour, the principle of not only equal intervals of time, but also the clarity of the schedule, will be preserved.

As for some of the other principles detailed above, so for this last principle, to some extent, a start has already been made. On various Berlin suburban lines, for example, a half-hour period has been introduced. At certain hours of the day and at certain times of the year, the movement is denser to a 15-minute period, and at other times it is diluted to an hourly interval. But that which is still in the embryo here and, moreover, represents isolated cases, must be accepted as a rule for the new system of movement. The same



simplicity, according to continuity of movement and due to its rhythm, will also differ in the train timetable books of the new system. At present, one can thoroughly get used to the timetable book only after a special rather tedious study of it, while the timetable book of the new movement system will represent a simple image of a simple movement.

The system of movement developed here in all details does not contain anything that is not sufficiently substantiated. Everything that in its totality was considered as a «new system» represents the development of existing communication in the direction of «least resistance», both technically and economically.

After the first note about the new traffic system appeared, inquiries about its profitability began to arrive from all sides. To this it can be answered that the main purpose of the published articles was to prove the technical feasibility of the project outlined in them, the financial side of the case should serve as a subject for further research. The success story of the technician shows that the question of profitability has never occupied the first place in a series of questions that have arisen in solving various problems. If Zeppelin at the very beginning of his work had immediately put the economic side of the matter in the foreground, he would hardly have achieved successful implementation of his discovery.

But if we consider the issue from a different point of view, then it turns out to be quite solid here that this note is not included in calculation of profitability of the enterprise. Under any circumstances of organic life, there is such an interaction between them that various kinds of devices that are necessary for one another feed each other and develop together.

One of the great people of recent times, who owes his successes to this everywhere manifested mutual connection, Werner von Siemens frankly spoke about this as follows:

«My friends sometimes reproached me for the fact that with my inventions that pursue generally useful goals, I especially emphasized the benefits that they bring to all mankind, and yet, as a result, I myself derived enormous benefits from them. But it would be unfair to build on this objection. Such devices, which serve the whole society, responding to real needs and modern conditions, and whose satisfaction is long overdue, at the same time should always bring benefits to the inventor, are always carried out in the form of a profitable enterprise».

What the oldest German electrical engineer says specifically about his work applies exactly the same to every other invention and, in general, to every success in technology. The urgent need for a radical improvement in traffic conditions, even without any detailed calculations, makes it possible, according to the considerations just given, to conclude with confidence about profitability of the above traffic improvement. It must be assumed that new means of communication will increase the welfare of the population; this alone indicates the important economic significance of the new system. Since its implementation, in contrast to gradual development of modern railways, is assumed according to one general grandiose plan, then mass production of monotonous iron parts required for the construction should take on such dimensions that one can expect a significant reduction in the cost of production and at the same time reduction in costs for road construction.

And the urgent need for new roads will come sooner than people usually think. When August Scherl, 25 years ago, on his return from a trip to England, said that Berlin should follow the example of London to build underground roads, they objected that due to the high cost (a running meter of the underground railway cost about 6500 marks) in Germany it could never come true. However, now underground roads run through Berlin along and across.

The project of August Scherl may seem utopian, but with rapid successes that technology has been making recently, it cannot be recognized as impracticable, even if not on such a wide scale as the author of the project believes. Its implementation is associated with a radical breakdown of existing railways, the technical conditions for construction and operation of which have been firmly established, and huge sums of money have been spent on their construction. In addition, such a reorganization of railway communications will require such large capital that because of this alone it will be necessary to put up with all the shortcomings of the existing means of communication for a long time. In any case, this project deserves full attention also because, by covering these shortcomings, it also outlines ways to eliminate them.

**Engineer K. Tikhomirov
(Zheleznodorozhnoe Delo [Railway Business],
1910, No. 13–14, pp. 77–85) ●**



УЧЕБНИКИ 246

Студентам о праве.

АВТОРЕФЕРАТЫ 254

- Организация процессов транспортной компании в условиях применения дифференцированных длин поездов.
- Оценка качества технической эксплуатации систем железнодорожной автоматики и телемеханики.
- Экономическое обоснование проектов транспортного строительства с привлечением иностранных инвестиций.
- Численный метод расчёта круглых пластин.
- Повышение эффективности доставки грузов для Севера России.

НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ 262

Научные и учебные издания российских и зарубежных издательств.



КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ • BIBLIO-DIRECTIONS



TEXTBOOK 250

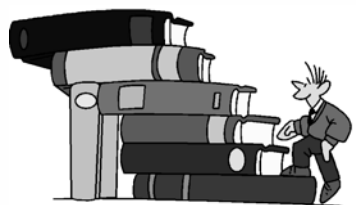
Textbook on law offered to future transport employees.

SELECTED ABSTRACTS OF D.SC. & PH.D. THESIS 258

- Organization of processes of transport companies regarding trains with variable length.
- Economic substantiation of transport construction projects and attraction of foreign investments.
- Improving the efficiency of cargo delivery for the North of Russia based on risk management.
- Numerical method for calculating circular plates.
- Evaluation of quality of technical operation of railway automatics and telemechanics.

NEW BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION 263

New manuals and scientific editions offered by Russian and international publishing houses.





Право и транспорт: продолжение темы



Иван ХОЛИКОВ

Холиков Иван Владимирович – Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации, Научно-экспертный совет Центра исследования проблем безопасности Российской академии наук. Москва, Россия.*

Артамонова С. Н., Гоц Е. В., Землин А. И., Землина О. М., Козлов В. В., Мамонова М. В., Матвеева М. А., Мельникова Ю. В., Пищелко А. В., Расулов А. В., Соколова Е. В., Филиппова М. Ю. Актуальные проблемы правового обеспечения профессиональной деятельности: Учебник для вузов (гриф УМО ВО) / Отв. ред. А. И. Землин. – М.: Юрайт, 2020. – 459 с. ISBN 978-5-534-13673-9.

В статье даётся рецензия на учебник «Актуальные проблемы правового обеспечения профессиональной деятельности» для студентов транспортных вузов, обучающихся по программам магистратуры, подготовленный коллективом кафедры «Транспортное право» Юридического института Российского университета транспорта под общей редакцией Заслуженного деятеля науки Российской Федерации, доктора юридических наук, профессора А. И. Землина. Отмечается актуальность тематик, включённых в содержание учебника, широта их освещения, поз-

воляющая обеспечить полное и всестороннее освоение дидактического материала, глубина научного подхода, продемонстрированного авторами в процессе работы над изданием, практическая значимость и потенциальная востребованность учебника. Особо подчеркивается достаточность материала, представленного в учебнике, для формирования у будущих специалистов высшей квалификации в области транспорта компетенций правовой направленности, необходимых для последующего успешного выполнения ими обязанностей по должностному предназначению в условиях цифровизации экономики и транспорта.

Редакция вновь обращается к вопросам правового обучения студентов-транспортников с учётом особой важности этого вопроса в современных условиях (Холиков И. В. Правовые знания для будущих транспортников // Мир транспорта. – 2020. – № 1. – С. 260–264. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-260-264>).

Ключевые слова: профессиональная деятельность, транспорт, право, законодательство, обучение, студенты, правовое обеспечение.

*Информация об авторе:

Холиков Иван Владимирович – доктор юридических наук, профессор кафедры международного и европейского права Института законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве РФ, заместитель руководителя направления «Транспортная безопасность» Научно-экспертного совета Центра исследования проблем безопасности Российской академии наук, Москва, Россия, iv_kholik@mail.ru.

Рецензия поступила в редакцию 06.08.2020, принята к публикации 25.08.2020.

For the English text of the article please see p. 250.

Чёткое и однозначное понимание места и роли транспортного права в российской правовой системе имеет для будущих специалистов в области транспорта особое значение, поскольку от этого прямо зависят возможность адекватного его использования ими в процессе будущей деятельности, степень законности принимаемых ими управленческих решений [1, с. 246]. В этой связи подготовка специалистов транспортной отрасли в области правового обеспечения их профессиональной деятельности является залогом постоянного совершенствования и развития этой отрасли. Развитие информационных технологий актуализирует необходимость постоянного обновления знаний в целях совершенствования профессиональных навыков и компетенций, а также обеспечения транспортной безопасности [2, с. 67].

Одной из причин необходимости жёсткого и полного правового регулирования транспортных отношений является то, что «из-за высокой уязвимости, в сравнении со многими другими потенциальными целями, объекты транспорта особенно привлекательны для террористов, так как обычно приводят к большому количеству жертв, могут парализовать ключевые секторы экономики и вызвать серьёзные общественные потрясения» [3, с. 13; 14, с. 24]. Это внимание вполне обоснованно, поскольку, как, основательно «отмечается, уязвимость транспортного комплекса для актов незаконного вмешательства обусловлена его специфическими особенностями, такими как большая протяжённость транспортных магистралей, наличие опасных объектов транспортной инфраструктуры, большой поток пассажиров и грузов и т.д.» [15, с. 14], в связи с чем «общественные отношения на транспорте подлежат полному и чёткому правовому регулированию, нуждаются в системном организационном упорядочивании деятельности в сфере обеспечения антитеррористической безопасности» [16, с. 11], в том числе, — «с использованием средств технического регулирования» [17, с. 100].

Успешное функционирование транспортной системы предполагает не только знание её субъектами нормативных правовых актов, но и осуществление надзора в интересах соблюдения законности и правопорядка на транспорте, реализацию мероприятий по

обеспечению безопасности транспортной инфраструктуры на основе доктринальных подходов, комплекса медицинских и медико-социальных мероприятий, направленных на снижение риска возникновения чрезвычайных ситуаций, на минимизацию медико-санитарных последствий, на сохранение здоровья людей [4, с. 185], уменьшение ущерба окружающей природной среде и многое другое. Выполнение международно-правовых обязательств нашего государства в транспортной сфере также представляется крайне важной задачей, что нашло отражение в Транспортной стратегии Российской Федерации [5, с. 98].

Дисциплина «Актуальные проблемы правового обеспечения профессиональной деятельности» преподаётся студентам Российского университета транспорта, обучающимся по программам магистратуры инженерно-технических, экономических направлений в целях формирования у будущих специалистов на транспорте высшей квалификации профессиональных компетенций, позволяющих им осуществлять правозначимые управленческие действия, квалифицировать правонарушения, обеспечивать исполнение норм специального, — в том числе, транспортного, — законодательства в процессе проектной деятельности, руководства производственными, технологическими, логистическими процессами, решения иных профессиональных задач на основе понимания сущности правовых явлений и процессов, проблем правового регулирования деятельности на транспорте.

Разделы учебника последовательно раскрывают особую значимость обеспечения функционирования транспортной системы в условиях реализации базовых направлений стратегического развития транспортной системы России до 2035 года, обеспечивая поступательное развитие научной школы «Транспортное право», преемственность в формировании компетенций специалистов-транспортников.

При формировании структуры учебника «Актуальные проблемы правового обеспечения профессиональной деятельности» были учтены потребности специалистов на транспорте в получении правовых знаний по всем направлениям предстоящей практической деятельности. Так, в издание включены дидактические блоки, адекватно отражающие



проблемные вопросы правового регулирования государственного управления и государственной службы, корпоративного управления и инвестиционной деятельности на транспорте, безопасности труда на транспорте, правового обеспечения деятельности государственных учреждений, подведомственных Минтрансу России, техносферной и экологической безопасности на транспорте. Не обошли авторы своим внимание и вопросы правового регулирования транспортных отношений, финансово-правового обеспечения функционирования транспортной системы в условиях реализации Транспортной стратегии на период до 2030 года, а также правового обеспечения информационной безопасности в профессиональной деятельности на транспорте, то есть вопросов, традиционно относящихся к предмету исследования представителей научной школы «Транспортное право» [12, с. 57–71; 13, с. 144–153; 14, с. 22–31].

Представляется возможным констатировать, что структура и содержание рецензируемого учебника позволяют рассмотреть большинство актуальных на сегодня проблем в сфере транспорта, включая вопросы, связанные с продолжающейся пандемией новой коронавирусной инфекции. Известно, что самыми очевидными из пострадавших в ней секторов являются те, которые прямо или косвенно связаны с перемещением людей или предполагающие их концентрацию. Большинство авиакомпаний, ограничив до минимума выполнение полётов в начале пандемии, по-прежнему не в состоянии полноценно работать из-за введённых ограничений, особенно на выполнение международных пассажирских перевозок, вследствие неравномерного распространения инфекции по миру [6].

С учётом продолжения роста заболеваемости в ряде государств, глобальный ущерб от пандемии для транспортной отрасли только предстоит оценить. Это касается не только прямых, но и косвенных убытков [7, с. 26].

Обсуждение в ходе лекций и семинарских занятий значительного количества проблем, являющих собой актуальные вызовы современности, позволит студентам получить доступ к универсальному инструментарию по преодолению последствий практически любых обстоятельств.

Доступность изложения материала, его логичность и педагогическая целесообразность свидетельствует о высоком профессионализме коллектива авторов – преподавателей кафедры «Транспортное право» Юридического института Российского университета транспорта, являющегося головным транспортным вузом России, в задачи которого сегодня входит организация не только подготовки будущих работников транспортной сферы, но и совершенствование профессиональной подготовки и переподготовки сотрудников отрасли.

Рецензируемый учебник обеспечивает логическую преемственность и связь с другими дисциплинами и учебниками кафедры, среди которых «Правоведение для студентов транспортных вузов» [8], «Транспортное право» [9], «Правовые и организационные аспекты противодействия терроризму на транспорте» [3], «Организационно-правовые основы функционирования транспортной системы в условиях сложной эпидемиологической обстановки» [7].

Поскольку, как обоснованно отмечает-ся, «в связи с их значимостью общественные отношения на транспорте подлежат правовому регулированию... При этом активно используются средства как публично-правового, так и частноправового регулирования» [10, с. 248], при этом «в транспортном законодательстве накоплена значительная, ... «критическая масса» нормативного материала» [11, с. 127], следует согласиться с тем, что «чёткое и однозначное понимание места и роли транспортного права в российской правовой системе имеет для будущих специалистов в области транспорта особое значение, поскольку от этого прямо зависит возможность адекватного его использования ими в процессе будущей деятельности, степень законности принимаемых ими управленческих решений» [1, с. 246].

В заключение необходимо отметить, что учебник «Актуальные проблемы правового обеспечения профессиональной деятельности» написан доступным, но, вместе с тем, юридически грамотным литературным языком, вне всякого сомнения, в значительной мере восполняет имеющийся недостаток учебной литературы для преподавания студентам транспортных образовательных организаций, обучающимся по



Law and Transport: Continuing the Topic



Ivan V. KHOLIKOV

Kholikov, Ivan V., Institute of Legislation and Comparative Law under the Government of the Russian Federation, Scientific Expert Council of the Centre for Security Studies of the Russian Academy of Sciences. Moscow, Russia.*

Artamonova, S. N., Gots, E. V., Zemlin, A. I., Zemlina, O. M., Kozlov, V. V., Mamonova, M. V., Matveeva, M. A., Melnikova, Yu. V., Pischelko, A. V., Rasulov, A. V., Sokolova, E. V., Filippova, M. Yu. Actual problems of legal support of professional activity: Textbook for universities (UMO VO [educational and methodological association of higher education]) [Aktualnie problemy pravovogo obespecheniya professionalnoi deyatel'nosti: Uchebnik dlya vuzov (grif UMO VO)]. Ed. by A. I. Zemlin. Moscow, Yurayt publ., 2020, 459 p. ISBN 978-5-534-13673-9.

ABSTRACT

The article provides a review of the textbook «Actual problems of legal support of professional activity» for students at transport universities enrolled in master's programs, prepared by the team of the department of Transport Law of the Law Institute of Russian University of Transport under the general editorship of Honored Scientist of the Russian Federation, Doctor of Law,

Professor Alexander I. Zemlin. The review notes the relevance of the topics included in the content of the textbook, the breadth of their coverage, which makes it possible to ensure complete and comprehensive mastering of didactic material, the depth of the scientific approach demonstrated by the authors in the process of working on the publication, the practical significance and potential relevance of the textbook. The sufficiency of the material presented in the textbook is especially emphasized regarding training of future specialists of the highest qualifications in the field of transport with legal competencies necessary for subsequent successful fulfillment by them of their professional duties in the context of digitalization of the economy and transport.

The editors return to the issues of legal training of students who could further become transport employees considering the particular importance of this issue in modern conditions (Kholikov, I. V. Legal Knowledge for Future Transport Employees. World of Transport and Transportation, 2020, Iss. 1, pp. 260–264. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-260-264>).

Keywords: professional activity, transport, law, legislation, training, students, legal support.

*Information about the author:

Kholikov, Ivan V. – Doctor of Law, Professor of the Department of International and European Law of the Institute of Legislation and Comparative Law under the Government of the Russian Federation, Deputy Head of the Direction of Transport Security of Scientific and Expert Council of the Centre for Security Studies of the Russian Academy of Sciences. Moscow, Russia, iv_kholik@mail.ru.

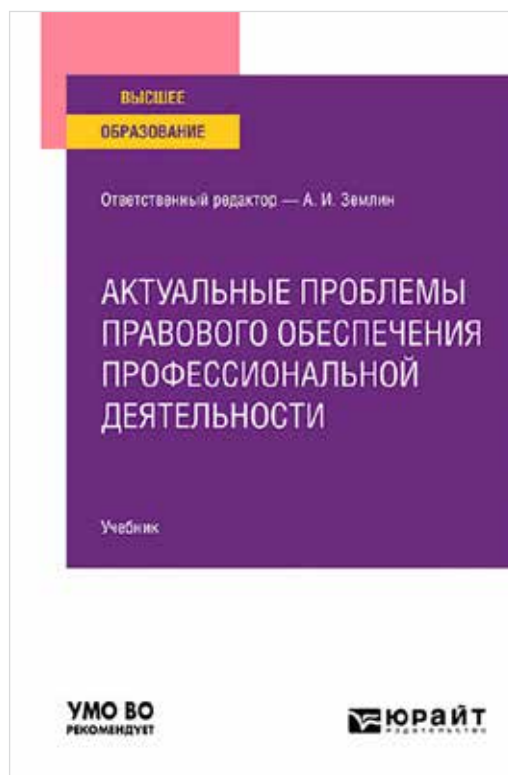
Review received 15.02.2020, accepted 27.02.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 246.

A clear and unambiguous understanding of the place and role of transport law in the Russian legal system is of particular importance for future specialists in the field of transport, since this directly affects the possibility of its adequate use by them in the process of future activities, determines the degree of legality of their managerial decisions [1, p. 246]. In this regard, training of specialists in the transport industry in the field of legal support of their professional activities is the key to continuous improvement and development of this industry. The development of information technologies actualizes the need for constant updating of knowledge in order to improve professional skills and competencies, as well as to ensure transport security [2, p. 67].

One of the reasons for the need for strict and complete legal regulation of transport relations is that *«due to high vulnerability, in comparison with many other potential targets, transport facilities are especially attractive to terrorists, since their attacks usually lead to a large number of victims, can paralyze key sectors of economy and cause serious social upheaval»* [3, p. 13; 14, p. 24]. This attention is quite justified, since, as it is thoroughly noted, *«vulnerability of the transport complex to acts of unlawful interference is due to its specific features, such as the long length of transport routes, the presence of dangerous transport infrastructure facilities, a large flow of passengers and goods, etc.»* [15, p. 14], in connection with which *«public relations in transport are subject to complete and clear legal regulation, they need a systemic organizational streamlining of activities in the field of anti-terrorist security»* [16, p. 11], including – *«using means of technical regulation»* [17, p. 100].

The successful functioning of the transportation system presupposes not only knowledge of the subjects of regulatory legal acts, but also implementation of supervision in the interests of observance of law and legal order in transport sector, implementation of measures to ensure safety of transport infrastructure based on doctrinal approaches, a set of medical and medico-social measures aimed at reducing the risk of emergencies, to minimize health consequences, to preserve human health [4, p. 185], reduction of damage to the environment and much more. Fulfilment of the international legal obligations of our state in the transport sector is also an extremely important task, which



is reflected in the Transport strategy of the Russian Federation [5, p. 98].

The discipline «Actual problems of legal support of professional activity» is taught to students of Russian University of Transport enrolled in master's programs in engineering, technical, economic areas in order to form professional competencies among future transport specialists of the highest qualification, allowing them to carry out legitimate managerial actions, qualify offenses, ensure enforcement of the norms of special, including transport, legislation in the process of project activities, management of production, technological, logistic processes, solving other professional problems based on understanding of the essence of legal phenomena and processes, problems of legal regulation of activities in transport.

The sections of the textbook consistently reveal the special importance of ensuring functioning of the transport system in the context of implementation of basic directions of strategic development of the transport system of Russia until 2035, ensuring progressive development of the scientific school «Transport Law», continuity in formation of the competencies of transport specialists.



When forming the structure of the textbook «Actual problems of legal support of professional activity», the needs of transport specialists in obtaining legal knowledge in all areas of future practical activity were considered. Thus, the publication includes didactic blocks that adequately reflect the problematic issues of legal regulation of public administration and public service, corporate governance, and investment activities in transport, labour safety in transport; legal support for activities of state institutions subordinate to the Ministry of Transport of Russia, technosphere and environmental safety in transport. The authors also paid attention to the issues of legal regulation of transport relations, financial and legal support for functioning of the transport system in the context of implementation of the Transport Strategy for the period up to 2030, as well as legal support of information security in professional activities in transport, that is, questions traditionally related to the subject of research by representatives of the scientific school «Transport Law» [12, pp. 57–71; 13, pp. 144–153; 14, pp. 22–31].

It seems possible to state that the structure and content of the reviewed textbook allows us to consider most of the current problems in the field of transport, including the ongoing pandemic of the new coronavirus infection. It is known that the most obvious sectors affected by it are those directly or indirectly associated with movement of people or suggesting their concentration. Most airlines, having limited their flight operations to a minimum at the beginning of the pandemic, are still unable to operate fully due to the restrictions imposed, especially on international passenger transportation, due to uneven spread of the infection around the world [6].

Given the continued growth of the incidence in a number of countries, the global damage from the pandemic to the transport industry has yet to be assessed. This applies not only to direct, but also to indirect losses [7, p. 26].

Discussion during lectures and seminars of a significant number of problems that are actual challenges of our time will allow students to gain access to universal tools for overcoming the consequences of almost any circumstance.

The availability of presentation of the material, its consistency and pedagogical expediency testifies to high professionalism of the team of authors – professors and lecturers

at the Department of Transport Law of the Law Institute of Russian University of Transport, which is the leading transport university in Russia, whose tasks today include organizing not only training of future transport employees, but also improvement of professional training and retraining of industry employees.

The reviewed textbook provides logical continuity and connection with other disciplines and textbooks of the department, including «Jurisprudence for students of transport universities» [8], «Transport law» [9], «Legal and organizational aspects of countering terrorism in transport sector» [3], «Organizational and legal basis for functioning of the transport system in a complex epidemiological situation» [7].

Since, as reasonably noted, *«in connection with their importance, public relations in transport are subject to legal regulation... At the same time, the means of both public and private law regulation are actively used»* [10, p. 248], while *«the transport legislation has accumulated a significant,... «critical mass» of regulatory material»* [11, p. 127], one should agree that *«a clear and unambiguous understanding of the place and role of transport law in the Russian legal system is of particular importance for future specialists in the field of transport, since this directly affects the possibility of its adequate use by them in the process of future activities, as well as the degree of legality of management decisions taken by them»* [1, p. 246].

In conclusion, it should be noted that the textbook «Actual problems of legal support of professional activity» is written in an accessible, but at the same time, legally competent literary language, that is, no doubt, to a large extent makes up for the existing lack of educational literature for teaching students of transport educational organizations, studying in master's programs, fully complies with the state educational standard in jurisprudence and, of course, will be in demand not only by students, but also by researchers, teachers, specialists and everyone who is interested in issues of law and its relations with transport.

REFERENCES

1. Artamonova, S. N., Gots, E. V., Zemlin, A. I., Zemlina, O. M., Kozlov, V. V., Mamonova, M. V., Matveeva, M. A., Melnikova, Yu. V., Pischelko, A. V., Rasulov, A. V., Sokolova, E. V., Filippova, M. Yu. Actual problems of legal support of professional activity: Textbook for universities (stamp UMO VO) [Aktualnye problemy pravovogo obespecheniya professionalnoi deyatel'nosti: Uchebnik dlya vuzov (grif UMO VO)]. Ed. by A. I. Zemlin. Moscow, Yurayt publ., 2020, 459 p. [Electronic resource]:

<https://www.litres.ru/alekper-vagifovich-r/aktualnye-problemy-pravovogo-obespecheniya-p-56356209/>. Last accessed 06.09.2020.

2. Zemlin, A. I. Organizational and legal problems of personnel training for the transport security system [*Organizatsionnye i pravovye problemy podgotovki kadrov dlya istemy obespecheniya transportnoi bezopasnosti*]. *Transportnoe pravo i transportnaya bezopasnost'*, 2019, Iss. 4 (32), pp. 65–74. [Electronic resource]: <http://trans-safety.ru/2020/01/10/zemlin-a-i-organizatsionnye-i-pravovye-problemy-podgotovki-kadrov-dlya-sistemy-obespecheniya-transportnoj-bezopasnosti/>. Last accessed 06.09.2020.

3. Zemlin, A. I., Kozlov, V. V., Zemlina, O. M., Kholikov, I. V. Legal and organizational aspects of countering terrorism in transport: Textbook for universities [*Pravovye i organizatsionnye aspekty protivodeistviya terrorizmu na transporte: Uchebnik dlya vuzov*]. Moscow, Yurait publ., 2020, 156 p. [Electronic resource]: <https://www.litres.ru/aleksandr-igorevich/pravovye-i-organizatsionnye-aspekty-obespeche-61642033/>. Last accessed 06.09.2020.

4. Kholikov, I. V., Klyonov, M. V. Legal and Organization Issues of Transport Occupational Health and Medical Assistance to Passengers in Russian Federation. *World of Transport and Transportation*, Vol. 17, 2019, Iss. 3, pp. 180–191. [Electronic resource]: <https://mirr.elpub.ru/jour/article/download/1679/2054>. Last accessed 06.09.2020.

5. Kholikov, I. V. International legal aspects of implementation of the Transport strategy of the Russian Federation in the field of medical support in transport sector [*Mezhdunarodno-pravovye aspekty realizatsii Transportnoi strategii Rossiiskoi Federatsii v sfere meditsinskogo obespecheniya na transporte*]. *Transportnoe pravo i bezopasnost'*, 2018, Iss. 4 (28), pp. 93–99. [Electronic resource]: <http://trans-safety.ru/2018/12/20/kholikov-i-v-mezhdunarodno-pravovye-aspekty-realizatsii-transportnoj-strategii-rossijskoj-federatsii-v-sfere-meditsinskogo-obespecheniya-na-transporte/>. Last accessed 06.09.2020.

6. Chernogor, N. N., Zemlin, A. I., Kholikov, I. V., Mamedova, I. A. Impact of the Spread of Epidemics, Pandemics and Mass Diseases on Economic Security of Transport. E3S Web of Conferences, 2020, Vol. 203, pp. 5–19. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020305019>.

7. Zemlin, A. I., Klenov, M. V., Kholikov, I. V. Organizational and legal problems of preventing the importation and spread of mass infectious diseases in transport (on the example of the coronavirus infection COVID-19 pandemic): Monograph [*Organizatsionno-pravovye problemy preduprezhdeniya zavoza i rasprostraneniya massovykh infektsionnykh zabolevaii na transporte (na primere pandemii koronavirusnoi infektsii COVID-19): Monografiya*]. Moscow, Rusays, 2020, 126 p.

8. Jurisprudence for students of transport universities: Textbook for universities [*Pravovedenie dlya studentov transportnykh vuzov: Uchebnik dlya vuzov*]. Ed. by A. I. Zemlin. 4th ed., rev. and enl. Moscow, Yurait publ., 2020, 421 p. [Electronic resource]: <https://urait.ru/book/pravovoe-obespechenie-professionalnoy-deyatelnosti-dlya-studentov-transportnykh-vuzov-466230>. Last accessed 06.09.2020.

9. Transport law: Textbook for bachelor's and specialist's studies [*Transportnoe pravo: Uchebnik dlya bakalavriata i spetsialiteta*]. Ed. by N. A. Dukhno, A. I. Zemlin. 2nd ed., rev. and enl. Moscow, Yurait publ., 2019, 380 p. [Electronic resource]: <https://urait.ru/book/transportnoe-pravo-428514>. Last accessed 06.09.2020.

10. Zemlin, A. I., Timonina, I. V., Khimich, T. M., Filippova, M. Yu., Koryakin, V. M., Rasulov, A. V., Gots,

E. V., Zemlina, O. M., Matveeva, M. A., Pischelko, A. V., Efendiev, T. S., Melnikova, Yu. V. Legal support of professional activity for transport specialties: Textbook [*Pravovoe obespechenie professionalnoi deyatelnosti dlya transportnykh spetsialnostei: Uchebnik*]. Moscow, Yurait publ., 2019. [Electronic resource]: <https://urait.ru/book/pravovoe-obespechenie-professionalnoy-deyatelnosti-dlya-transportnykh-specialnostey-422810>. Last accessed 06.09.2020.

11. Zemlin, A. I., Khimich, T. M., Filippova, M. Yu., Rasulov, A. V., Gots, E. V., Zemlina, O. M., Matveeva, M. A., Pischelko, A. V., Melnikova, Yu. V., Dukhno, N. A., Borisova, S. V., Mamonova, M. V., Melnikov, V. S., Openyshev, O. S., Petrov, Yu. I., Kharlamova, Yu. A. Transport law: Textbook [*Transportnoe pravo: Uchebnik*]. 2nd ed., trans. and enl. Moscow, Yurait publ., 2019. [Electronic resource]: <https://static.my-shop.ru/product/pdf/349/3482987.pdf>. Last accessed 06.09.2020.

12. Zemlin, A. I., Zemlina, O. M., Denisova, Yu. V. Actual organizational and legal issues of application of the program-target method of financial support for development of railway transport in Russia [*Aktualnye organizatsionno-pravovye voprosy primeneniya programno-tsilevogo metoda finansovogo obespecheniya razvitiya zheleznodorozhnogo transporta v Rossii*]. *Transportnoe pravo i bezopasnost'*, 2017, Iss. 12 (24), pp. 57–71. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30776196>. Last accessed 06.09.2020.

13. Zemlin, A. I. Topical issues of legal regulation of control over the expenditure of funds from the budgets of the budgetary system of the Russian Federation in implementation of public procurement [*Aktualnye voprosy pravovogo regulirovaniya kontrolya za rashodovaniem sredstv byudzheta byudzhetnoi sistemy Rossiiskoi Federatsii pri osushchestvlenii gosudarstvennykh zakupok*]. *Gosudarstvennyi audit. Pravo. Ekonomika*, 2016, Iss. 2, pp. 144–153. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26471916>. Last accessed 06.09.2020.

14. Zemlin, A. I., Zemlina, O. M. Actual organizational and legal issues of the use of controls to improve the efficiency of financial support of the transport system of Russia [*Aktualnye organizatsionno-pravovye voprosy ispolzovaniya sredstv kontrolya v tselyakh povysheniya effektivnosti finansovogo obespecheniya transportnoi sistemy Rossii*]. *Bulletin of the Academy of Law and Management*, 2018, Iss. 2 (51), pp. 22–31. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35213492>. Last accessed 06.09.2020.

15. Zemlin, A. I., Kozlov, V. V. Counteraction to terrorism. Organizational and legal support for transport: Study guide for bachelor's, specialist's and master's studies [*Protivodeistvie terrorizmu. Organizatsionno-pravovoe obespechenie na transporte: Ucheb. posobie dlya bakalavriata, spetsialiteta i magistratury (grif: UMO VO)*]. Moscow, Yurait publ., 2019, 182 p. [Electronic resource]: <https://static.my-shop.ru/product/pdf/349/3487000.pdf>. Last accessed 06.09.2020.

16. Zemlin, A. I. Administrative and legal aspects of transport security [*Administrativno-pravovye aspekty obespecheniya transportnoi bezopasnosti*]. *National security and strategic planning*, 2019, Iss. 4 (28), pp. 10–14. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42391795>. Last accessed 06.09.2020.

17. Zemlin, A. I., Zemlina, O. M., Shvydchenko, O. N. Topical issues of technical regulation of the safety of metro systems [*Aktualnye voprosy tekhnicheskogo regulirovaniya bezopasnosti metropolitenov*]. *Bulletin of MIIT Law Institute*, 2018, Iss. 1 (21), pp. 87–101. [Electronic resource]: https://ui-miit.ru/files/docs/vestnik-ui/vestnik_ui_21.pdf. Last accessed 06.09.2020.



АВТОРЕФЕРАТЫ ДИССЕРТАЦИЙ

*Selected abstracts of D.Sc. and Ph.D.
theses submitted at Russian transport
universities*

For the English text please see p. 258.

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-254-261>

Басыров И. М. Организация производства транспортной компании в условиях применения дифференцированных длин поездов / Автореф. дис... канд. техн. наук. — М.: РУТ, 2020. — 24 с.

Проведён анализ теории и практики организации регулярного грузового движения в Российской Федерации и за рубежом. В соответствии с ним было определено, что наиболее рациональной формой организационно-производственного развития терминальных инфраструктур, находящихся в местах необщего пользования, является преобразование их в транспортные компании — контейнерные операторы (КО). Обозначены особенности перевозок грузов в сегменте регулярного грузового движения. Подтверждено, что крупнейшие компании — контейнерные операторы — организационно привязаны к точкам зарождения и погашения железнодорожных контейнеропотоков (в основном, к крупным морским портам).

Определено, что для группы транспортных компаний, работающих по схеме «Клиент—Оператор—Владелец инфраструктуры необщего пользования», для привлечения клиентов есть необходимость отправлять контейнерные поезда дифференцированных длин.

Выявлены негативные факторы, влияющие на качество транспортного обслуживания грузовладельцев на линейном уровне, и предложения по их преодолению с помощью КО.

Выполнено моделирование технологической устойчивости КО. Под технологической устойчивостью в данном исследовании понимается способность контейнерного оператора к реструктуризации и последующему за ним «реинжинирингу» бизнес-процессов.

Разработана математическая модель задачи планирования погрузки комплектных контейнерных отправок на фитинговые платформы с учётом рационального использования их погрузочной длины и извлечения

при этом максимально возможной выручки от реализации транспортной продукции в виде оптимального варианта погрузки.

05.22.01 — Транспортные и транспортно-технологические системы страны, её регионов и городов, организация производства на транспорте. Работа выполнена в Российском университете транспорта.

Веселова А. С. Оценка качества технической эксплуатации систем железнодорожной автоматики и телемеханики / Автореф. дис... канд. техн. наук. — М.: РУТ, 2020. — 24 с.

В условиях ограниченных производственных ресурсов и наличия новых, недоступных ранее возможностей автоматизированного сбора и анализа больших объёмов различной статистической информации, необходимо совершенствование методов планирования и управления производственными процессами эксплуатации транспортной инфраструктуры на основе риск-менеджмента.

С помощью анализа рисков потерь поездов из-за отказов технических средств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) имеется возможность управления надёжностью инфраструктуры, включая планирование производственных процессов, оценку необходимых ресурсов, а также оценку качества технической эксплуатации средств ЖАТ, с точки зрения качества предоставления услуг железнодорожным транспортом.

В работе предложена модель оценки риска обеспечения требуемого уровня готовности технических средств ЖАТ в зависимости от обеспеченности производственного процесса технического обслуживания и ремонта необходимыми трудовыми и иными ресурсами, наличия объёмов работ, возникновение которых носит случайный или нерегламентированный характер. Предложенная модель основана на применении обобщённого структурного метода с использованием функциональных сетей.

Разработаны номенклатура показателей и методика комплексной оценки деятельности линейных предприятий и структурных подразделений хозяйства автоматики и телемеханики, основанная на оценке рисков, связанных с неудовлетворительным качеством предоставления услуг по перевозке грузов и пассажиров железнодорожным транспортом.

Предложенный метод позволяет применить на практике ряд организационных и управленческих решений по повышению справедливости и достоверности оценки производственной деятельности. Такая оценка учитывает влияние текущего состояния объектов ЖАТ на перевозочный процесс и, как следствие, на уровень предоставления услуг инфраструктуры в целом для обеспечения безопасного и надёжного пропуска поездов с учётом технико-технологических требований, предъявляемых к объектам ЖАТ на железнодорожных линиях различных классов и специализаций.

В работе предложена методика оценки и сравнительного анализа функциональной безопасности производственных процессов хозяйства автоматики и телемеханики с помощью вероятностного анализа коэффициента потенциальной опасности как случайной величины.

Расчёт планируемых интервальных значений коэффициента потенциальной опасности предлагается производить на основе декомпозиции производственных процессов до уровня работ с последующим применением функциональных сетей с численными характеристиками, полученными на основе статистических данных о результатах выявленных нарушений безопасности по сети железных дорог.

В работе содержится ряд рекомендаций по использованию экспертных оценок для анализа влияния обеспеченности производственных процессов ресурсами (трудовыми, материальными и др.) на значения коэффициента потенциальной опасности с целью управления безопасностью движением поездов.

05.22.8 – Управление процессами перевозок. Работа выполнена в Российском университете транспорта.

Джангирян А. В. Экономическое обоснование проектов транспортного строительства с привлечением иностранных инвестиций / Автореф. дис... канд. экон. наук. – М.: РУТ, 2020. – 24 с.

Представленное исследование, в основе которого лежали классические методы и системные знания в области инвестиционного процесса в транспортной отрасли, полученные в результате объёмных исследований, проводившихся российским и зарубежными учёными в указанной области, позволило решить ряд проблемных научных и практических задач.

Апробация изложенной методики на примере проектов в Армении и Иране, реализуемых с целью повышения эффективности деятельности ОАО «РЖД», привлечения дополнительных объёмов транзитных перевозок, показала состоятельность предложенного подхода. Были подтверждены выводы, сделанные при использовании классических методик, однако предложенная авторская система подходов позволила увидеть нюансы принятого решения и отметить ту грань, которая без подобного анализа оставалась бы невидимой. В то же время при наличии иных внешних факторов, способных повлиять на поведение инвестора, такой пофакторный анализ может влиять на изменение подходов. Кроме того, автором отмечена применимость предложенных в исследовании подходов к реализации проекта ВСМ Москва–Санкт-Петербург.

Эффект от применения авторской методики, посчитанный в ходе апробации на проектах «ЮКЖД» и в Иране, позволил повысить глубину проработки проектов на величину от 2,2 до 4 раз, в среднем увеличив вероятность привлечения иностранных инвестиций на 70 %.

Указанная методика может быть достаточно широко применена в проектном анализе, а переменные, необходимые для её использования, не требуют нетривиальных вычислений.

Автором создана методическая основа для развития тематики синхронизации иностранных инвестиционных потоков и методики их перераспределения между проектами на национальном и зарубежных рынках. С учётом развития и усложнения отношений между субъектами транспортного строительства потребность в придании дополнительной научной базы и доработке на её основе их фундамента представляется очевидным следствием происходящих процессов. Кроме того, с точки зрения автора, фокусом дальнейших исследований также могло бы стать изучение методов имплементации в предложенные автором модели различные варианты симбиозов системного и бихевиорального инвестиционного анализа.

08.00.05 – Экономика и управление народным хозяйством (экономика, организация и управление предприятиями, отраслями и комплексами – строительство). Работа выполнена в Российском университете транспорта.



Мансур Алаа Эльдин Мохамед Абдельгафар Ибрагим. Численный метод расчёта изгибаемых круглых пластин на статические и динамические нагрузки / Автореф. дис... канд. техн. наук. — М.: МГСУ, 2020. — 25 с.

Разработаны методики расчёта пластин с различными видами краевых условий при действии различных типов нагрузок, включая полосовые, циклические. Для этого использованы предложенные Р. Ф. Габбасовым обобщённые уравнения метода конечных разностей (МКР). В известной мере построение указанных методик допустимо рассматривать как дальнейшее развитие МКР.

Разработанные методики верифицированы на тестовых задачах и численно исследованы на сходимость. Показано, что полученные решения задач имеют хорошую точность, практически сходятся с результатами по методу конечных элементов (МКЭ) и известными аналитическими решениями при достаточно мелком разбиении. Решения, полученные на основе разработанных методик, быстро сходятся по мере сгущения разностных сеток.

По предложенным алгоритмам составлены расчётные таблицы и макросы для расчёта круглых пластин на ЭВМ посредством Mathcad и Microsoft Excel. Они позволяют рассчитывать круглые пластины при различных видах краевых условий на действие статических и динамических нагрузок, таким образом, исследованные алгоритмы просто программируются и выполняются на ЭВМ.

Предполагается разработать подобные алгоритмы и реализовать методики для расчёта круглых пластин на нерегулярной сетке на базе обобщённых уравнений МКР под другими воздействиями: температурными нагрузками, негармоническими динамическими нагрузками (пульсация).

05.23.17—Строительная механика. Работа выполнена в Национальном исследовательском Московском государственном строительном университете. Защита состоялась в Российском университете транспорта.

Филиппова Н. А. Повышение эффективности доставки грузов для севера России на основе управления рисками / Автореф. дис... док. техн. наук. — М.: МАДИ, 2020. — 42 с.

На основе подходов к целостному совместному функционированию производ-

ственных систем и окружающей природной среды разработаны теоретические положения, способствующие решению теоретико-прикладной проблемы повышения эффективности и надёжности функционирования транспортных потоков, имеющему важное народно-хозяйственное значение для развития севера России и экономики в целом на основе управления риском.

На основе разработанных теоретико-методологических и научно-методических положений, научных методов, моделей, экспериментальных исследований и управленческих предложений инновационной направленности созданы научно-методологические и практические методы организации эффективного и биосферно-совместного дорожного движения.

В процессе выполнения исследований были решены поставленные в работе задачи:

- Определены, исследованы и классифицированы основные особенности организации транспортного обслуживания северных районов России; факторы, оказывающие влияние на надёжность функционирования мультимодальной транспортной системы северного завоза. Проанализированы состав и структура видов транспорта, задействованных в перевозке грузов северного завоза, классифицированы особенности организации и функционирования мультимодальной транспортной системы.

- Разработана математическая модель и получены закономерности сезонных колебаний температуры воздуха на основе применения теории марковских процессов с использованием статистических данных ФГБУ «Всероссийский НИИ гидрометеорологической информации — Мировой центр данных» г. Обнинск более чем за 100 лет. На базе разработанной модели создана программа по прогнозированию начала и окончания работы автозимников для северных районов России. С использованием указанной программы разработаны мероприятия, позволяющие снизить риски, возникающие в процессе перевозок грузов северного завоза, что, по оценке специалистов, позволит увеличить объём перевозок грузов по автозимникам на 10–20 %. Кроме того, предложена методика и создано программное обеспечение расчёта нижней и верхней доверительной границы времени окончания и начала ледовых явлений. В работе пред-

ставлены данные о начале и окончании ледовых явлений на реке Лена в районе посёлка Визирный за период с 1975 по 2012 годы. Эти данные использовались при апробации методики, которая позволяет прогнозировать сроки начала и окончания навигации на северных реках. Использование прогноза сроков ледовых явлений при планировании перевозок грузов северного завоза, по оценкам специалистов предприятий, на которых проходила опытную апробацию программа, позволит сократить время на перевозку грузов на 10–15 %.

- Исследовано влияние рисков на надёжность и эффективность транспортно-технологического процесса перевозки грузов в северные районы России в мультимодальной транспортной системе. Определены, классифицированы и ранжированы риски, возникающие в транспортно-технологическом процессе мультимодальных перевозок грузов. Разработана модель оценки рисков с использованием факторного анализа и учётом требований ГОСТ Р 51901.1-2002, позволяющая повысить надёжность процессов перевозки грузов северного завоза на 10–15 %. Разработаны типовые варианты сценариев реализации транспортно-технологического процесса в мультимодальной транспортной системе в зависимости от выявленных значимых рисков.

- Разработана структура организационно-управленческой модели системы управления транспортно-логистического центра с учётом комплексной автоматизации базовых функций диспетчерского управления перевозкой грузов северного завоза и возможности контроля выполнения плановых заданий. Разработанная структура включает схему информационного обмена в системе диспетчерского управления транспортно-технологическими процессами северного завоза на основе применения телематических, информационных, навигационных технологий управления для повышения надёжности перевозки грузов. Предложенные меры помогут снизить возможные риски как за счёт уменьшения вероятности возникновения выявленных неблагоприятных событий, также и за счёт уменьшения последствий в случае их возникновения. Разработанная структура взята за основу при разработке и внедрении транспортно-логистического центра на базе предприятий АО «ЗДК «Лензолото», г. Бодайбо

и ООО «Судоходная компания «Витим-Лес», г. Киренска.

- Разработана методика построения цифровой модели инфраструктуры транспортной сети на основе использования методов геоинформатики. Методика включает описание в цифровом виде элементов маршрутов для каждого вида транспорта. Элементы маршрута могут быть представлены на электронной карте местности с использованием технологий географических информационных систем. Практическое использование модели позволяет организовать непрерывный мониторинг движения транспортных средств на маршрутах северного завоза.

- Разработана методика автоматизированного формирования оперативных справок и отчётных форм о текущем состоянии и результатах процесса перевозки грузов северного завоза на основе использования методов искусственного интеллекта. Методика обеспечивает отображение оперативной обстановки на маршруте движения с учётом возможных рисков ситуаций и других особенностей маршрута.

Особенностью разработанных новых подходов является использование телематической информации, формируемой бортовыми программно-аппаратными средствами, размещаемыми на контролируемых транспортных средствах.

Разработана методическая основа для повышения уровня автоматизации базовых функций диспетчерского управления перевозкой грузов автомобильным транспортом в смешанном мультимодальном сообщении. В методике предлагается использовать цифровую инфраструктуру системы управления северным завозом, являющуюся необходимым элементом и основой функционирования современной системы управления перевозками.

Определены основные цели создания автоматизированной спутниковой навигационной системы диспетчерского управления перевозками грузов на севере России.

05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта. Работа выполнена в Московском автомобильно-дорожном государственном техническом университете (МАДИ).

Подготовила Н. ОЛЕЙНИК •



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. 254.

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-254-261>

Basyrov, I. M. Organization of production of a transport company in the context of the use of differentiated train lengths. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [*Organizatsiya proizvodstva transportnoi kompanii v usloviyakh primeneniya differentsirovannykh dlin poezdov. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk*]. Moscow, RUT publ., 2020, 24 p.

After carrying out analysis of the theory and practices of regular freight traffic in the Russian Federation and abroad it was determined that the most rational form of organizational and production development of terminal infrastructures located in places of non-public use is their transformation into specific transportation companies: container operators (CO). The features of transportation of goods in the segment of regular freight traffic are outlined. It was confirmed that the largest container operators are organizationally tied to the points of origin and destination of railway container flows (mainly to large seaports).

It has been determined that for a group of transport companies operating under «Client—Operator—Owner of non-public infrastructure» scheme, in order to attract customers, it is necessary to send container trains of differentiated lengths.

The negative factors affecting quality of transport services for cargo owners at the linear level and proposals for overcoming them with the help of CO are identified.

The modelling of the technological stability of CO has been carried out. In this study, technological sustainability is understood as the ability of a container operator to proceed with restructuring and subsequently with «reengineering» of business processes.

A mathematical model has been developed to solve the problem of planning the loading of complete container shipments on fitting platforms, taking into account the rational use of their loading length and extracting the

maximum possible revenue from the sale of transport products in the form of an optimal loading option.

05.22.01 — Transport and transport and technological systems of the country, its regions and cities, organization of transport production. The work was performed at Russian University of Transport.

Dzhangiryan, A. V. Economic substantiation of transport construction projects with attraction of foreign investments. Abstract of Ph.D. (Economics) [*Ekonomicheskoe obosnovanie proektov transportnogo stroitelstva s privilecheniem inostrannykh investitsii. Avtoref. dis... kand. ekonom. nauk*]. Moscow, RUT publ., 2020, 24 p.

The presented study, which was based on classical methods and systemic knowledge in the field of the investment process in the transport industry, systemized following study of voluminous research carried out by Russian and foreign scientists in this area, made it possible to solve a number of problematic scientific and practical problems.

Approbation of the described methodology on the example of projects in Armenia and Iran, implemented with the aim of increasing efficiency of JSC Russian Railways, attracting additional volumes of transit traffic, showed the consistency of the proposed approach. The conclusions made using classical methods were confirmed, however, the proposed author's system of approaches made it possible to see the nuances of the decision made and mark the line that would remain invisible without such an analysis. At the same time, in the presence of other external factors that can influence the behaviour of the investor, such a factorial analysis can change the outcome. In addition, the author noted the applicability of the approaches proposed in the study to implementation of Moscow—St. Petersburg high-speed rail project.

The effect of the use of the author's methodology, calculated during testing on the projects of the South Caucasus Railways and in Iran, made it possible to increase the depth of project development by 2,2 to 4 times, on average increasing the probability of attracting foreign investment by 70 %.

This technique can be widely used in design analysis, and the variables required for its use do not require non-trivial calculations.

The author has created a methodological basis for development of the topic of synchronization of foreign investment flows and methods for their redistribution between projects in national and foreign markets. Considering development and complication of relations between the subjects of transport construction processes, the need to provide an additional scientific base and refine the estimates seems to be an obvious consequence of ongoing processes. In addition, from the author's point of view, the focus of further research could also be placed on the study of methods of implementation of the model proposed by the author, of various variants of symbiosis of systemic and behavioural investment analysis.

08.00.05 – Economics and management of the national economy (economics, organization and management of enterprises, industries, and complexes: construction). The work was performed at Russian University of Transport.

Filippova, N. A. Improving the efficiency of cargo delivery for the North of Russia based on risk management. Abstract of D.Sc. (Eng) thesis [Povyshenie effektivnosti dostavki gruzov dlya severa Rossii na osnove upravleniya riskami. Avtoref. dis... doc. tekhn. nauk]. Moscow, MADI publ., 2020, 42 p.

Based on approaches to integral joint functioning of production systems and the natural environment, theoretical provisions have been developed that contribute to solving the theoretical and applied problem of increasing efficiency and reliability of functioning of traffic flows, which is of great national economic importance for development of the North of Russia and the economy as a whole based on risk management.

Based on developed theoretical-methodological and scientific-methodological provisions, scientific methods, models, experimental research and management proposals of an innovative orientation, scientific-methodological and practical methods of organizing effective and biosphere-joint traffic have been created.

In the course of the research, the tasks set in the work were solved:

- The main features of organization of transport services in the northern regions of Russia; factors influencing reliability of functioning of the multimodal transport system of the «northern delivery» [seasonal, during the period of more favourable weather conditions, forwarding of goods to the northern territories] were defined, studied, and classified. The composition and structure of the modes of transport involved in transportation of goods within northern delivery were analysed, the features of organization and functioning of the multimodal transport system are classified.

- A mathematical model was developed and regularities of seasonal fluctuations in air temperature were obtained based on the application of the theory of Markov processes using statistical data from the All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center, Obninsk, for more than 100 years. Based on the developed model, a software has been created to predict the start and end of the operation of winter roads for northern regions of Russia. With the use of this software, measures were developed to reduce the risks arising in the process of transporting goods, which, according to experts, will increase the volume of freight traffic on winter roads by 10–20 %. In addition, a method and software were proposed for calculating the lower and upper confidence limits of the end and beginning of ice phenomena. The paper presents data on the beginning and end of ice phenomena on the Lena River near the village of Vizirny for the period from 1975 to 2012. These data were used to test the methodology, which makes it possible to predict timing of the beginning and of the end of navigation on northern rivers. The use of the forecast of timing of ice phenomena in planning the transportation of goods, according to the estimates of the specialists of the enterprises where the program was tested, will reduce time for transportation of goods by 10–15 %.

- The impact of risks on reliability and efficiency of the transportation and technological process of transporting goods to the northern regions of Russia in a multimodal transport system was studied. The risks arising for transportation and technological process of multimodal transportation of goods were identified, classified, and ranked. A risk



assessment model was developed using factor analysis and considering the requirements of GOST [national standard] R51901.1-2002, which made it possible to increase reliability of the processes of transporting goods by 10–15 %. Typical scenarios for implementation of the transportation and technological process in a multimodal transportation system were developed, depending on the identified significant risks.

- The structure of the organizational and managerial model of the management system of the transport and logistics centre was developed, taking into account the complex automation of the basic functions of dispatching control of transportation of goods within the northern delivery and the possibility of monitoring implementation of planned tasks. The developed structure includes a scheme of information exchange within the dispatch control system of transportation and technological processes of the northern delivery based on the use of telematic, information, navigation control technologies to increase reliability of cargo transportation. The proposed measures will help to reduce possible risks both by reducing the likelihood of occurrence of identified adverse events, as well as by reducing the consequences if they occur. The developed structure was taken as a basis for development and implementation of a transport and logistics centre based in the enterprises of JSC ZDK Lenzoloto, Bodaibo and LLC Shipping Company Vitim-Les, Kirensk.

- A method for constructing a digital model of the transport network infrastructure based on the use of geoinformatics methods was developed. The methodology includes a digital description of the route elements for each mode of transport. Route elements can be presented on an electronic map of the area using geographic information technologies. The practical use of the model makes it possible to organize continuous monitoring of movement of vehicles on the routes.

- A methodology was developed for automated generation of operational information and of reporting forms on the current state and results of the process of transportation of goods within the northern delivery based on the use of artificial intelligence methods. The methodology provides a display of the operational situation

on the route considering possible risk situations and other features of the route.

A feature of the developed new approaches is the use of telematic information generated by on-board software and hardware located on controlled vehicles.

A methodological basis was developed to increase the level of automation of the basic functions of dispatch control over transportation of goods by road in mixed multimodal traffic. The methodology proposes to use the digital infrastructure of the northern delivery control system, which is a necessary element and basis for functioning of a modern transportation management system.

The main goals of creating an automated satellite navigation system for dispatching cargo transportation in the North of Russia were identified.

05.22.10 – Operation of road transport. The work was performed at Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI).

Mansour Alaa Eldin Mohamed Abdelgafar Ibrahim. Numerical method for calculating static and dynamic loads of bending circular plates. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Chislenniy metod rascheta izgibaemykh kruglykh plastin na staticheskie i dinamicheskie nagruzki. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk]. Moscow, MGSU publ., 2020, 25 p.

Methods for calculating plates with various types of boundary conditions under the action of various types of loads, including strip, cyclic, have been developed. For this, the generalized equations of the finite difference method (FDM) proposed by R. F. Gabbasov were used. To a certain extent, the construction of these techniques can be considered as a further development of FDM.

The developed techniques were verified on test problems and numerically investigated for convergence. It is shown that the obtained solutions of the problems have good accuracy, practically converge with the results by the finite element method (FEM) and the known analytical solutions with a sufficiently small partition. The solutions obtained based on the developed techniques quickly converge as the difference grids become denser.

According to the proposed algorithms, tables and macros for calculating round plates on a computer using Mathcad and Microsoft Excel were compiled. They make it possible to design round plates under various types of boundary conditions regarding the action of static and dynamic loads, thus, the investigated algorithms are simply programmed and executed on a computer.

It is planned to develop similar algorithms and implement methods for calculating circular plates on an irregular grid based on generalized FDM equations under other influences: temperature loads, nonharmonic dynamic loads (*pulsation*).

05.23.17 – Construction mechanics. The work was performed at National Research Moscow State University of Civil Engineering. The defence took place at Russian University of Transport.

Veselova, A. S. Evaluation of quality of technical operation of railway automation and telemechanic systems. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Otsenka kachestva tekhnicheskoi ekspluatatsii sistem zheleznodorozhnoi avtomatiki i telemekhaniki. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk]. Moscow, RUT publ., 2020, 24 p.

In conditions of limited production resources and availability of new, previously unavailable opportunities for automated collection and analysis of large volumes of various statistical information, it is necessary to improve the methods of planning and managing production processes for operating transport infrastructure based on risk management.

By analysing the risks of loss of train-hours due to failures of technical devices of railway automatics and telemechanics (RAT), it is possible to manage reliability of the infrastructure, including planning production processes, assessing the necessary resources, as well as assessing quality of technical operation of RAT facilities, in terms of quality of services provided by railway transport.

The paper proposes a model for assessing the risk of a failure in ensuring the required level of readiness of technical means of railway equipment, depending on provision of the production process of maintenance

and repair with necessary labour and other resources, presence of a volume of work, the occurrence of which is of an accidental or unregulated nature. The proposed model is based on application of the generalized structural method using functional networks.

A nomenclature of indicators and a methodology for a comprehensive assessment of activities of linear enterprises and structural units of the automatics and telemechanics have been developed, based on an assessment of risks associated with unsatisfactory quality of services in transportation of goods and passengers by railway transport.

The proposed method makes it possible to apply in practice a number of organizational and managerial decisions to improve reliability of assessment of production activities. This assessment considers the impact of the current state of railway facilities on the transportation process and, as a consequence, on the level of infrastructure services provided to ensure safe and reliable train transit, taking into account technical and technological requirements for railway facilities on railway lines of various classes and specializations.

The paper proposes a method for assessing and proceeding with comparative analysis of functional safety of industrial processes in the automatics and telemechanics units using probabilistic analysis of the potential hazard rate as a random variable.

It is proposed to calculate the planned interval values of the potential hazard rate based on decomposition of production processes to the level of individual operations with the subsequent use of functional networks with numerical characteristics obtained on the basis of statistical data on the results of identified safety violations on the railway network.

The paper contains recommendations on the use of expert assessments to analyse the impact of provision of production processes with resources (labour, material resources, etc.) on the values of the potential hazard rate to control train traffic safety.

05.22.8 – Management of transportation processes. The work was performed at Russian University of Transport.

Compiled by N. OLEYNIK ●





НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ

Со списком литературы,
изданной на английском языке,
можно ознакомиться на с. 264.

*For the list of the titles originally published in
English, and for the English list of the titles
published in Russian please see pp. 263–264.*

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-262-264>

Абдулин Р. Р., Березуев А. В., Кузнецов А. Г., Мулин П. В. Системы автоматического управления боковым движением самолётов: Учеб. пособие. — М.: Изд-во МАИ, 2020. — 64 с. ISBN 978-5-4316-0725-7.

Вакуленко С. П., Колин А. В., Роменский Д. Ю. и др. Санкт-Петербургский транспортный узел: перспективы развития: Монография / Под редакцией С. П. Вакуленко. — М.: РУТ (МИИТ); ВИНТИ РАН. — Ч. 1: Организация пригородных и пригородно-городских пассажирских перевозок железнодорожным транспортом. — 2020. — 189 с. ISBN 978-5-902928-87-4.

Грузков С. А., Жирнова Н. Б., Кечин А. В. и др. Проектирование систем электроснабжения летательных аппаратов: Учеб. пособие. — М.: Изд-во МЭИ, 2020. — 270 с. ISBN 978-5-7046-2151-5.

Гусева Р. И. Основы расчёта самолёта на прочность: Учеб. пособие. — Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре гос. ун-т, 2020. — 77 с. ISBN 978-5-7765-1403-6.

Железнов Е. И., Железнов Р. Е. Тормозные свойства малотоннажных автопоездов: Монография. — Волгоград: ВолгГТУ, 2020. — 201 с. ISBN 978-5-9948-3593-7.

Замуховский А. В., Гречаник А. В. Железнодорожный путь высокоскоростных линий: Учеб. пособие. — Ч. 1: Проектирование трассы. Земляное полотно. — М.: Проспект, 2020. — 80 с. ISBN 978-5-392-31017-3.

Карпушенко Н. И., Манаков А. Л., Труханов П. С. Оптимизация параметров жизненного цикла верхнего строения железнодорожного пути в сложных эксплуатационных условиях: Монография. — Новосибирск: Наука, 2020. — 146 с. ISBN 978-5-02-038825-3.

Козырев Н. А., Шевченко Р. А. Сварка железнодорожных рельсов: Учеб. пособие. — Новокузнецк: Сибирский гос. индустриальный ун-т, 2020. — 136 с. ISBN 978-5-7806-0555-3.

Королёва Л. А., Королёв Е. В., Слесарчук И. А. и др. Сервис в авиации: Учеб. пособие. — Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2019. — 335 с. ISBN 978-5-9736-0552-0.

Котельников В. Р., Хробыстова О. В., Зрелов В. А., Пономарёв В. А. Двигатели гражданских самолётов России / Науч. ред. В. А. Зрелов, В. А. Пономарёв. — Рыбинск: Медиарост, 2020. — 553 с. ISBN 978-5-906071-36-1.

Ланшин А. И., Прохоров А. Н., Кукшинов Н. В. и др. Особенности расчётных исследований и экспериментальной отработки прямооточных ВРД на жидких и газообразных горючих: Монография / Под общ. ред. д.т.н. А. И. Ланшина. — М.: ЦИАМ, 2020. — 111 с. ISBN 978-5-94049-049-4.

Мерданов Ш. М., Егоров А. Л. Зимнее содержание дорог: Монография. — Тюмень: ТИУ, 2020. — 191 с. ISBN 978-5-9961-2305-6.

Островерхов А. Е., Тещлав И. А., Коникова Е. В. Перевозка опасных грузов на воздушном транспорте: Учеб. пособие. — СПб.: Ун-т гражданской авиации, 2020. — 112 с. ISBN 978-5-907354-02-9.

Переверзев И. Г., Финоченко Т. А., Чубарь Е. П., Борисова А. В. Охрана труда на железнодорожном предприятии: Учеб. пособие. — Ростов-на-Дону: Ред.-издательский центр РГУПС, 2020. — 71. ISBN 978-5-88814-915-7.

Самойленко А. П., Панычев С. А., Панычева А. И. и др. Синтез реконфигурируемых систем функционального контроля и диагностики бортового радиоэлектронного комплекса: Монография. — Ростов-на-Дону; Таганрог: Изд-во Южного федерального ун-та, 2020. — 202 с. ISBN 978-5-9275-3456-2.

Сергеев К. А., Бомбардиров А. П., Петров А. А. Эксплуатация и техническое обслуживание пассажирских вагонов: Учеб. пособие. — М.: РУТ (МИИТ). РОАТ, 2020. — 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). ISBN 978-5-7473-1011-7.

Сытых Е. И., Коникова Е. В., Панкратова А. Р. Управление качеством технологических процессов в аэропортах: Учеб. пособие. — СПб.: СПбГУГА, 2020. — 176 с. ISBN 978-5-907354-03-6.

Цвик Л. Б., Зеньков Е. В., Бочаров И. С. Вычислительная механика деформирования деталей вагонов: Монография. — Иркутск: ИрГУПС, 2020. — 163 с. ISBN 978-5-98710-375-3.

Юрьев А. А., Громов В. Е., Иванов Ю. Ф., Рубанникова Ю. А. Структура и свойства длиномерных дифференцированно закалённых рельсов после экстремально длительной эксплуатации: Монография. — Новокузнецк: Полиграфист, 2020. — 252 с. ISBN 978-5-91797-286-2.

Яновский Л. С., Арефьев, К. Ю. Милёхин Ю. М. и др. Прямоточные воздушно-реактивные двигатели на энергоёмких конденсированных материалах / Под общ. ред. Л. С. Яновского. — М.: ЦИАМ, 2020. — 197 с. ISBN 978-5-94049-048-7.

Подготовила Н. ОЛЕЙНИК ●

NEW BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION

For the original list of editions published in Russian please see p. 262.

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-262-264>

Abduln, R. R., Berezuev, A. V., Kuznetsov, A. G., Mulin, P. V. Systems of automatic control of lateral movement of aircraft: Study guide [*Sistemy avtomaticheskogo upravleniya bokovym dvizheniem samoletov: Ucheb. posobie*]. Moscow, Publishing house of MAI, 2020, 64 p. ISBN 978-5-4316-0725-7.

Gruzkov, S. A., Zhirnova, N. B., Kechin, A. V. [et al]. Design of aircraft power supply systems: Study guide [*Proektirovanie sistem elektroobrazovaniya letatelnykh apparatov: Ucheb. posobie*]. Moscow, MEI Publishing House, 2020, 270 p. ISBN 978-5-7046-2151-5.

Guseva, R. I. Fundamentals of calculating the aircraft strength: Study guide [*Osnovy rascheta samoleta na prochnost: Ucheb. posobie*]. Komsomolsk-on-Amur, Komsomolsk-on-Amur State University, 2020, 77 p. ISBN 978-5-7765-1403-6.

Karpushchenko, N. I., Manakov, A. L., Trukhanov, P. S. Optimization of the parameters of the life cycle of the railway track superstructure under difficult operating conditions: Monograph [*Optimizatsiya parametrov zhiznennogo tsikla verkhnego stroeniya zheleznodorozhnogo puti v slozhnykh ekspluatatsionnykh usloviyakh: Monografiya*]. Novosibirsk, Nauka publ., 2020, 146 p. ISBN 978-5-02-038825-3.

Korolyova, L. A., Korolyov, E. V., Slesarchuk, I. A. [et al]. Service in aviation: Study guide [*Servis v aviatsii: Ucheb. posobie*]. Vladivostok, VSUES Publishing House, 2019, 335 p. ISBN 978-5-9736-0552-0.

Kotelnikov, V. R., Khrobystova, O. V., Zrellov, V. A., Ponomarev, V. A. Engines of Russian civil aircraft [*Dvigateli grazhdanskikh samoletov Rossii*]. Ed. by V. A. Zrellov, V. A. Ponomarev. Rybinsk, Mediarost publ., 2020, 553 p. ISBN 978-5-906071-36-1.

Kozyrev, N. A., Shevchenko, R. A. Welding of railway rails: Study guide [*Svarka zheleznodorozhnykh relsov: Ucheb. posobie*]. Novokuznetsk, Siberian State Industrial University, 2020, 136 p. ISBN 978-5-7806-0555-3.

Lanshin, A. I., Prokhorov, A. N., Kukshinov, N. V. [et al]. Features of computational research and experimental development of direct-flow

Airbreathing jet engine on liquid and gaseous fuels: Monograph [*Osobennosti raschetnykh issledovaniy i eksperimentalnoi otrabotki pryamotoknykh VRD na zhidkikh i gazoobraznykh goryuchih: Monografiya*]. Ed. by D.Sc. (Eng) A. I. Lanshin. Moscow, TSIAM, 2020, 111 p. ISBN 978-5-94049-049-4.

Merdanov, Sh. M., Egorov, A. L. Winter maintenance of roads: Monograph [*Zimnee sodержание dorog: Monografiya*]. Tyumen, TIU, 2020, 191 p. ISBN 978-5-9961-2305-6.

Ostroverkhov, A. E., Tetslav, I. A., Konikova, E. V. Transportation of dangerous goods by air: Study guide [*Perevozka opasnykh грузов na vozдушном транспорте: Ucheb. posobie*]. St. Petersburg, University of Civil Aviation, 2020, 112 p. ISBN 978-5-907354-02-9.

Pereverzev, I. G., Finochenko, T. A., Chubar, E. P., Borisova, A. V. Labour protection at the railway enterprise: Study guide [*Okhrana truda na zheleznodorozhnom predpriyatii: Ucheb. posobie*]. Rostov-on-Don, Ed.-Publishing Center RGUPS, 2020, 71 p. ISBN 978-5-88814-915-7.

Samoilenko, A. P., Panychev, S. A., Panycheva, A. I. [et al]. Synthesis of reconfigurable systems of functional control and diagnostics of the onboard radio-electronic complex: Monograph [*Sintez rekonfiguriruemyykh sistem funktsionalnogo kontrolya i diagnostiki bortovogo radioelektronnogo kompleksa: Monografiya*]. Rostov-on-Don; Taganrog, Publishing house of Southern Federal University, 2020, 202 p. ISBN 978-5-9275-3456-2.

Sergeev, K. A., Bombardirov, A. P., Petrov, A. A. Operation and maintenance of passenger cars: Study guide [*Ekspluatatsiya i tekhnicheskoe obsluzhivanie passazhirskikh vagonov: Ucheb. posobie*]. Moscow, RUT (MIIT). ROAT, 2020, 1 electron optical disc (CD-ROM). ISBN 978-5-7473-1011-7.

Sytykh, E. I., Konikova, E. V., Pankratova, A. R. Quality management of technological processes at airports: Study guide [*Upravlenie kachestvom tekhnologicheskikh protsessov v aeroportakh: Ucheb. posobie*]. St. Petersburg, SPbGUGA, 2020, 176 p. ISBN 978-5-907354-03-6.

Tsvik, L. B., Zenkov, E. V., Bocharov, I. S. Computational mechanics of deformation of railway car parts: Monograph [*Vychislitel'naya mekhanika deformirovaniya detalei vagonov: Monografiya*]. Irkutsk, IrGUPS, 2020, 163 p. ISBN 978-5-98710-375-3.

Vakulenko, S. P., Kolin, A. V., Romensky, D. Yu. [et al]. St. Petersburg transport hub: development prospects: Monograph [*Sankt-Peterburgskiy transportnyy uzel: perspektivy razvitiya: Monografiya*]. Ed. by S. P. Vakulenko. Moscow, RUT (MIIT); VINITI RAS. Part I: Organization of suburban and



suburban-urban passenger transportation by rail, 2020, 189 p. ISBN 978-5-902928-87-4.

Yanovskiy, L. S., Arefiev, K. Yu. Milekhin, Yu. M. [et al]. Direct-flow air-jet engines on energy-intensive condensed materials [*Pryamotochnie vozdušno-reaktivnie dvigateli na energoemkikh kondensirovannykh materialakh*]. Ed. by L. S. Yanovskiy. Moscow, TSIAM, 2020, 197 p. ISBN 978-5-94049-048-7.

Yuriev, A. A., Gromov, V. E., Ivanov, Yu. F., Rubannikova, Yu. A. Structure and properties of lengthy differentially quenched rails after extremely long-term operation: Monograph [*Struktura i svoystva dlinnomernykh differentsirovannoy zakalennykh relsov posle ekstremalno dlitelnoi ekspluatatsii: Monografiya*]. Novokuznetsk, Poligrafist publ., 2020, 252 p. ISBN 978-5-91797-286-2.

Zamukhovskiy, A. V., Grechanik, A. V. Railway track of high-speed lines: Study guide [*Zhelezno-dorozhniy put' vysokoskorostnykh linii: Ucheb. posobie*]. Part 1: Designing the route. Roadbed. Moscow, Prospect publ., 2020, 80 p. ISBN 978-5-392-31017-3.

Zheleznov, E. I., Zheleznov, R. E. Braking properties of low-tonnage road trains: Monograph [*Tormoznie svoystva malotonnazhnykh avtopoezdov: Monografiya*]. Volgograd, VolgSTU, 2020, 201 p. ISBN 978-5-9948-3593-7.

Compiled by N. OLEJNIK ●

Selected editions originally published in English

Advances in Human Aspects of Transportation. Proceedings of the AHFE 2020 Virtual Conference on Human Aspects of Transportation, July 16–20, 2020, USA. Ed. Stanton, N. The Editor(s) (if applicable) and The Author(s), under exclusive license to Springer Nature Switzerland AG, 2020. eBook ISBN 978-3-030-50943-9.

Dimitrakopoulos, G., Uden, L., Varlamis, I. The Future of Intelligent Transport Systems. 1st Edition. Elsevier, 2020, 272 p. Paperback ISBN: 9780128182819; eBook ISBN: 9780128182826. eBook ISBN: 9780128126127

Geotechnics for Transportation Infrastructure. Recent Developments, Upcoming Technologies and New Concepts, Volume 2. Eds.: Sundaram, R., Shahu, J., Havanagi, V. Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2020, XVIII, 703 p. eBook ISBN 978-981-13-6713-7; Hardcover ISBN 978-981-13-6712-0.

Guria, J. Estimating the Human Cost of Transportation Accidents. Methodology and Policy

Implications. 1st Edition. Elsevier, 2020, 208 p. Paperback ISBN: 9780128126110

Hensher, D. Bus Transport. Demand, Economics, Contracting, and Policy. 1st Edition. Elsevier, 2020, 536 p. Paperback ISBN: 9780128201329; eBook ISBN: 9780128203934.

Hensher, D., Mulley, C., Ho, C., Yale Wong, Y., Smith, G., Nelson, J. D. Understanding Mobility as a Service (MaaS). Past, Present and Future. 1st Edition. Elsevier, 2020, 204 p. Paperback ISBN: 9780128200445; eBook ISBN: 9780128203972.

Huapu Lu. Eco-Cities and Green Transport. 1st Edition. Elsevier, 2020, 408 p. Paperback ISBN: 9780128215166; eBook ISBN: 9780128215173.

Recent Advances in Traffic Engineering. Select Proceedings of RATE 2018. Eds.: Arkatkar, S., Velmurugan, S., Verma, A. Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2020, XIV, 722 p. eBook ISBN 978-981-15-3742-4; Hardcover ISBN 978-981-15-3741-7.

Schiewe, Ph. Integrated Optimization in Public Transport Planning, Springer International Publishing, 2020, X, 191 p. eBook ISBN 978-3-030-46270-3; Hardcover ISBN 978-3-030-46269-7.

Smart Transportation Systems 2019. Eds.: Xiaobo Qu; Lu Zhen; Howlett, R., Jain, L. C. Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2020, XIV, 272 p. eBook ISBN 978-981-13-8683-1; Hardcover ISBN 978-981-13-8682-4.

The 30th SIAR International Congress of Automotive and Transport Engineering. Science and Management of Automotive and Transportation Engineering. Eds.: Dumitru, I., Covaciu, D., Racila, L., Rosca, A. Springer Nature Switzerland AG, 2020, XIV, 715 p. eBook ISBN 978-3-030-32564-0; Hardcover ISBN 978-3-030-32563-3.

Transportation Research. Proceedings of CTRG 2017. Eds.: Mathew, T. V., Joshi, G. J., Velaga, N. R., Arkatkar, S. Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2020, XVIII, 905 p. eBook ISBN 978-981-329-042-6; Hardcover ISBN 978-981-329-041-9.

Tranter, P., Tolley, R. Slow Cities. Conquering our Speed Addiction for Health and Sustainability. 1st Edition. Elsevier, 2020, 422 p. Paperback ISBN: 9780128153161; eBook ISBN: 9780128153178.

Urban and Transit Planning. A Culmination of Selected Research Papers from IEREK Conferences on Urban Planning, Architecture and Green Urbanism, Italy and Netherlands (2017). Eds.: Bougdah, H., Versaci, A., Sotoca, A., Trapani, F., Migliore, M., Clark, N. Springer Nature Switzerland AG, 2020, XII, 589 p. eBook ISBN 978-3-030-17308-1; Hardcover ISBN 978-3-030-17307-4.

Villa, J.-C., Boile, M., Theofanis International Trade and Transportation Infrastructure Development. Experiences in North America and Europe. 1st Edition. Elsevier, 2020, 282 p. ISBN 978-0-12-815741-1. ●