

# ИННОВАЦИОННЫЙ ТРАНСПОРТ

I N N O T R A N S

№ 3 (25)

сентябрь 2017

Формирование дружелюбного  
мультимодального пространства  
современного города

С. 8



Региональное  
пассажирское сообщение:  
тенденции развития

Физический интернет  
и математическое  
моделирование

Анализ эффективности  
работы аэродинамического  
тормоза





## Общероссийская общественная организация РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ТРАНСПОРТА



Основана 26 июня 1991 года, насчитывает более 680 действительных членов, среди которых доктора и кандидаты технических наук, доктора транспорта.

Располагает девятью региональными и двумя функциональными отделениями, имеет большой опыт работы в области транспортного планирования и развития транспортных систем регионального и муниципального уровня.

Проведение научно-исследовательских и научно-технических работ является приоритетной задачей Российской академии транспорта.

Реализованные государственные контракты на выполнение научно-исследовательских работ за последнее время по темам:

- «Концепция развития мультимодальных пассажирских перевозок в городе Перми»
- «Разработка макета информационно-аналитической системы выбора поставщиков и транспортных схем доставки нерудных строительных материалов при выполнении проектов капитального строительства»
- «Разработка предложений по концепции развития транспортного комплекса г. Красноярск в 2016-2025 гг.»
- «Проведение обследования процессов дистрибуции авиакомпанией «Аэрофлот» пакетированных туристических услуг с моделированием базовых функций, а также подготовка технических требований по автоматизации бизнес-процессов»

Все реализованные контракты представлены на сайте Российской академии транспорта: <http://rosacademtrans.ru/proektyi-akademii/>

### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ:

Центральное отделение:  
107078, г. Москва, ул. Маши Порываевой, д. 34, блок 1  
Тел.: +7 (499) 399-98-72  
Сайт: [www.rosacademtrans.ru](http://www.rosacademtrans.ru)

Уральское межрегиональное отделение:  
620034 г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, УРГУПС  
Тел.: 8-922-205-95-92, факс: (343) 221-24-67  
E-mail: [Anna-Volinskaya@mail.ru](mailto:Anna-Volinskaya@mail.ru)  
Сайт отделения: <http://www.uralakademia.ru>

### С НАМИ СОТРУДНИЧАЮТ:



Минтранс РФ



Министерство транспорта  
и дорожного хозяйства  
Волгоградской области



**СКОРОСТНЫЕ  
МАГИСТРАЛИ**



# Инновационный транспорт

Научно-публицистическое издание

№ 3 (25), 2017 г.

Издается с ноября 2011 г.

**Учредители:** Российская академия транспорта (РАТ),  
Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС)

**Главный редактор** Александр Геннадьевич Галкин, д-р техн. наук,  
профессор, ректор УрГУПС, председатель Уральского отделения РАТ

**Научный редактор** Дмитрий Германович Неволин, д-р техн. наук,  
профессор, действительный член РАТ

**Редактирование и корректура** — Елена Владимировна Чагина

**Верстка и дизайн** — Андрей Викторович Трубин

**Адрес редакции:** 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, каб. Б2-79.  
Тел. (343) 221-24-42, 221-24-90.

Веб-сайт: [www.usurt.ru](http://www.usurt.ru), e-mail: [innotrans@mail.ru](mailto:innotrans@mail.ru)

Свидетельство о регистрации средства массовой информации  
Роскомнадзора ПИ № ФС 77-46984 от 14 октября 2011 г.

Свидетельство на товарный знак (знак обслуживания) № 586908.

Зарегистрировано в Государственном реестре товарных знаков  
и знаков обслуживания РФ 14.09.2016 г.

Отпечатано в соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета  
в типографии ООО «Типография для Вас».

620073, г. Екатеринбург, ул. Крестинского, д. 37/2, к. 59.

Тел./факс: (343) 211-0-300. E-mail: [ooo\\_for\\_you@mail.ru](mailto:ooo_for_you@mail.ru)

Подписной индекс издания в общероссийском каталоге  
«Пресса России» — 85022.

DOI: 10.20291/2311-164X.

Подписано в печать 30.09.2017. Печать офсетная.

Тираж 1000 экз. Заказ № 1441

© ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет  
путей сообщения», 2017

© Общероссийская общественная организация

«Российская академия транспорта», 2017

## МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

**Александр Геннадьевич Галкин**, доктор технических наук, профессор,  
главный редактор журнала «Инновационный транспорт», действительный член РАТ, ректор Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург (Россия).

**Рольф Эпштайн**, доктор технических наук, Siemens (Германия).

**Денис Викторович Ломотко**, доктор технических наук, академик  
Транспортной академии Украины, профессор Украинского государственного университета железнодорожного транспорта, Харьков (Украина).

**Маргарита Булатовна Имандосова**, доктор технических наук, профессор,  
проректор по научной работе Каспийского государственного университета технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова, Актау (Казахстан).

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Дмитрий Германович Неволин**, доктор технических наук, профессор,  
научный редактор журнала «Инновационный транспорт», действительный член РАТ, заведующий кафедрой «Проектирование и эксплуатация автомобилей» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург (Россия).

**Петр Алексеевич Козлов**, доктор технических наук, профессор, действительный член РАТ, директор научно-производственного холдинга «Стратег», Москва (Россия).

**Сергей Алексеевич Румянцев**, доктор физико-математических наук, действительный член РАТ, профессор кафедры «Высшая и прикладная математика» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург (Россия).

**Валерий Михайлович Самуйлов**, доктор технических наук, действительный член РАТ, профессор кафедры «Мировая экономика и логистика» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург (Россия).

**Игорь Александрович Тараторкин**, доктор технических наук, действительный член РАТ, профессор кафедры «Гусеничные машины» Курганского государственного университета, заведующий Курганским отделом механики транспортных машин Института машиноведения УрО РАН, Курган (Россия).

**Елена Николаевна Тимухина**, доктор технических наук, профессор, действительный член РАТ, заведующая кафедрой «Управление эксплуатационной работой» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург (Россия).

# Innotrans

Scientific-and-nonfiction edition

№ 3 (25), 2017

Published since November 2011

**Founders:** Russian Academy of transport (RAT),  
Ural state University of railway transport (USURT)

**Editor-in-chief** Alexander G. Galkin, DSc in Engineering, Professor,  
Rector of USURT, Chairman of RAT Ural Department

**Scientific editor** Dmitry G. Nevolin, DSc in Engineering, Professor,  
full member of RAT

**Editing and proofreading** — Elena V. Chagina

**Layout and design** — Andrey V. Trubin

**Address of the editorial office:** Office B2-79, 66 Kolmogorova Str.,  
Ekaterinburg, 620034. Telephone: (343) 221-24-42, 221-24-90.

Web-site: [www.usurt.ru](http://www.usurt.ru). E-mail: [innotrans@mail.ru](mailto:innotrans@mail.ru)

Mass media registration certificate of Roskomnadzor PI No. FS 77-46984  
dated October 14, 2011.

Subscription reference number of the issue in the All Russia Catalogue  
“Russian Press” — 85022.

Released for printing on 30.09.2017. Offset printing.

Circulation 1000 copies.

© FGBOU VO Ural State University of Railway Transport, 2017

© All-Russian Public Organisation “Russian Academy of Transport”, 2017

## INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

**Alexander G. Galkin**, DSc in Engineering, Professor, Editor-in-Chief  
of Innotrans magazine, full member of RAT, Rector of the Ural State  
University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg (Russia).

**Rolf Epstein**, DSc in Engineering, Siemens (Germany).

**Denis V. Lomotko**, DSc in Engineering, Academician of the Transport  
Academy of Ukraine, professor of the Ukrainian State University of  
Railway Transport, Kharkov (Ukraine)

**Margarita B. Imandosova**, DSc in Engineering, professor,  
vice-rector for academic affairs of the Caspian State University of  
Technologies and Engineering named after S. Yesenov,  
Aktau (Kazakhstan)

## EDITORIAL BOARD

**Dmitry G. Nevolin**, DSc in Engineering, Professor, full member of  
RAT, Scientific Editor of Innotrans journal, Head of Car Design and  
Operation Chair, Ural State University of Railway Transport (USURT),  
Ekaterinburg (Russia).

**Pyotr A. Kozlov**, DSc in Engineering, Professor, full member of RAT,  
Director of Scientific Production Holding Strateg, Moscow (Russia).

**Sergey A. Rumyantsev**, Doctor of Physico-mathematical Sciences,  
full member of the Russian Academy of Transport, Professor of  
“Higher and Applied Mathematics” at Ural State University of Railway  
Transport, Ekaterinburg (Russia).

**Valery M. Samuilov**, DSc in Engineering, full member of RAT,  
Professor, Logistics and World Economy Chair, Ural State University  
of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, (Russia).

**Igor A. Taratorkin**, Doctor of Technical Sciences, Professor of “Track  
Machines” Department at Kurgan State University, member of the  
Russian Academy of Transport, Institute of Mechanical Engineering  
Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Head of the Mechanics  
of transport vehicles office, Kurgan (Russia).

**Elena N. Timukhina**, Doctor of Technical Sciences, professor,  
member of Russian Academy of Transport, Head of “Field operation  
management” department of the Ural State University of Railway  
Transport, Ekaterinburg, (Russia).



# СОДЕРЖАНИЕ

## Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте

Якимов М.Р. Законодательная основа и методическая база планирования устойчивых транспортных систем городов и регионов .....	3
Журавская М.А., Бучельникова Я.А., Парсюрова П.А. Формирование дружелюбного мультимодального пространства современного города .....	8
Смординцева Е.Е., Журавская М.А., Смородинцева Т.А. Проблемы и перспективы управления городским общественным транспортом Екатеринбурга в условиях логистической интеграции .....	15
Нарбеков М.Ф. Перспективы организации инфраструктуры альтернативных видов внутреннего пассажирского транспорта столичного региона Азербайджанской Республики .....	21

## Управление процессами перевозок

Смирнова О.Ю., Стоян К.К., Герасимчук К.Е., Калиева А.И. Региональное пассажирское сообщение: состояние и тенденции развития .....	26
Тушин Н.А., Тимухин К.М., Писарева Р.В. Физический интернет и математическое моделирование .....	32
Окулов Н.Е., Шипулин А.В., Якушев Н.В. Организация подвода местных вагонов с использованием метода динамического согласования .....	36

## Организация производства (транспорт)

Тарасян В.С., Нигматуллин А.А. Использование нейросетевого управления в системах с запаздыванием .....	39
Скутина М.А., Мыльников М.М. Современные методы обследования водопропускных труб .....	44

## Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

Ковалев А.А., Паных Д.С. Моделирование тепловых процессов в контактном проводе методом конечных элементов в программном комплексе Comsol Multiphysics 5.2 .....	49
Федоров Е.В., Яковлев К.Н. Компьютерное моделирование аэродинамических качеств высокоскоростного подвижного состава .....	53
Федоров Е.В., Яковлев К.Н. Анализ эффективности работы аэродинамического тормоза .....	57
Лесников Д.В., Пышкин А.А. К оценке надежности уровня напряжения в тяговой сети постоянного тока .....	60

# CONTENTS

## Transport and transport-technology system of the country, its regions and cities, manufacture organization on transport

Mikhail R. Yakimov. Legislative basis and methodological base for planning sustainable transport systems of cities and regions .....	3
Marina A. Zhuravskaya, Yana A. Buchelnikova, Polina A. Parsyurova. Shaping a friendly multimodal space of a modern city .....	8
Elena E. Smorodintseva, Marina A. Zhuravskaya, Tatyana A. Smorodintseva. The problems and prospects of managing the urban public transport of Yekaterinburg in the conditions of logistical integration .....	15
Marat F. Narbekov. Prospects of the infrastructure organization for alternative types of domestic passenger transport in the capital region of the Republic of Azerbaijan .....	21

## Management of transportation processes

Olga Y. Smirnova, Kirill K. Stoyan, Ksenia E. Gerasimchuk, Ayg'ul I. Kalieva. Regional passenger traffic: state and development trends .....	26
Nikolai A. Tushin, Kirill M. Timukhin, Rimma V. Pisareva. Physical Internet and mathematical modeling .....	32
Nikolai E. Okulov, Alexander V. Shipulin, Nikolai V. Yakushev. Organizing the supply of local carriages using dynamic matching method .....	36

## The organization of production (transport)

Vladimir S. Tarasyan, Adam A. Nigmatullin. The application of neural network control in time-delay systems .....	39
Maria A. Skutina, Maxim M. Mylnikov. Modern methods of inspection of culverts .....	44

## Rolling stock, hauling operation and electrification

Alexei A. Kovalev, Dmitry S. Panych. Modeling of thermal processes in a contact wire by the finite element method using Comsol Multiphysics 5.2 software package .....	49
Evgeny V. Fedorov, Konstantin N. Yakovlev. Computer modeling of aerodynamic qualities of a high-speed rolling stock .....	53
Evgeny V. Fedorov, Konstantin N. Yakovlev. Analysis of the efficiency of the aerodynamic brake .....	57
Dmitry V. Lesnikov, Anatoliy A. Pyshkin. To estimation of the voltage level reliability in a direct current traction network .....	60



Михаил Ростиславович  
Якимов  
Mikhail R. Yakimov

## Законодательная основа и методическая база планирования устойчивых транспортных систем городов и регионов

### Legislative basis and methodological base for planning sustainable transport systems of cities and regions

#### Аннотация

В статье представлен обзор законодательной базы по разработке программ комплексного развития транспортной инфраструктуры (ПКРТИ), комплексных схем организации дорожного движения (КСОДД), проектов организации дорожного движения (ПОДД) и разработанных методических документов по формированию эффективных транспортных систем городов и регионов. Построены модели зависимости цены контракта на выполнение научно-исследовательских работ от численности населения города, а также выведены уравнения для расчета начальной цены контракта на выполнение научно-исследовательской работы на разработку ПКРТИ, КСОДД и ПОДД в муниципальных образованиях.

**Ключевые слова:** методические документы, транспортное планирование, Российская академия транспорта, комплексная схема организации дорожного движения (КСОДД), программа комплексного развития транспортной инфраструктуры (ПКРТИ), проект организации дорожного движения (ПОДД).

#### Abstract

The article provides an overview of the legislative framework for the development of infrastructure transport programs (PIT), complex transport schemes (CTS), road traffic schemes (RTS) and developed methodological recommendations for the formation of efficient transport systems of the cities and regions. The models of the price dependence of the contract for research work depending on the population of the city are constructed. The equations for calculating the initial price of a contract for the performance of research work for the development of PIT, CTS and RTS in municipalities are described.

**Keywords:** methodical documents, transport planning, the Russian Academy of Transport, the complex transport scheme (CTS), the infrastructure transport program (PIT), the road traffic scheme (RTS).

DOI:10.20291/2311-164X-2017-3-3-7

#### Авторы Authors

Михаил Ростиславович Якимов, д-р техн. наук, директор Института транспортного планирования Общероссийской общественной организации «Российская академия транспорта», действительный член РАТ, Москва

Mikhail Rostislavovich Yakimov, Dr. of Technical Sciences, director of the Transport Planning Institute of the All-Russian Public Organization "The Russian Academy of Transport", full member of the Russian Academy of Transport, Moscow

За последние три года существенно изменилось правовое поле, которое регламентирует деятельность органов власти субъектов Российской Федерации, а также муниципальных образований по формированию эффективных транспортных систем городов и регионов. К примеру, в Градостроительном кодексе Российской Федерации появился термин «Программа комплексного развития транспортной инфраструктуры (ПКРТИ)» [1]. В соответствии с п. 5.1 ст. 26 Градостроительного кодекса Российской Федерации от 29.12.2004 г. № 190-ФЗ, программы комплексного развития транспортной инфраструктуры поселений, городских округов разрабатываются органами местного самоуправления поселений, городских округов и подлежат утверждению органами местного самоуправления таких поселений, городских округов в шестимесячный срок с даты утверждения генеральных планов соответствующих поселений, городских округов [1].

В развитие положения Градостроительного кодекса в 2015 г. выходит постановление Правительства от 25 декабря 2015 г. № 1440 «Об утверждении требований к программам комплексного развития транспортной инфраструктуры поселений, городских округов», которое устанавливает требования к программам комплексного развития транспортной инфраструктуры поселений, городских округов [2].

Для контроля состояния работ в регионах и отдельных муниципальных образованиях по разработке программ комплексного развития транспортной инфраструктуры выходит приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 26.05.2016 г. № 131 «Об утверждении порядка осуществления мониторинга разработки и утверждения программ комплексного развития транспортной инфраструктуры поселений, городских округов» [3], который устанавливает порядок осуществления мониторинга разработки и утверждения программ комплексного развития транспортной инфраструктуры поселений, городских округов.

В марте 2016 г. состоялось заседание Президиума Государственного совета при Президенте Российской Федерации, где в перечне поручений по итогам заседания Государственного совета в пункте 4Б было записано: «обеспечить разработку органами местного самоуправления комплексных схем организации дорожного движения на территориях муниципальных образований и программ по формированию законопослушного поведения участников дорожного движения в срок до 5 января» [4].

Эти поручения также наложили свой отпечаток и сделали разработку комплексных схем организации дорожного движения (КСОДД) и проектов организации дорожного движения (ПОДД) обязательными, а контроль за их разработку возложили на высшие должностные лица субъектов Российской Федерации.

Кроме того, с 2016 г. в Российской Федерации действует приоритетный проект Министерства транспорта Российской Федерации, который называется «Безопасные и качественные дороги» [5], основной целью которого является повышение качества и эффективности транспортного обслуживания населения. Проект предусматривает софинансирование тридцати двух крупнейших городских агломераций в Российской Федерации из федерального бюджета. В целях реализации данного проекта принято решение обязать участников проекта, т.е. руководителей субъектов Российской Федерации, на чьих территориях находятся крупнейшие городские агломерации, осуществлять разработку двух документов: программ комплексного развития транспортной инфраструктуры агломераций (далее — ПКРТИ) и комплексных схем организации транспортного обслуживания общественным транспортом на территории городских агломераций (далее — КСОТ). Для реализации требований Градостроительного кодекса Российской Федерации, постановления Правительства РФ от 25 декабря 2015 г. № 1440, приказа Министерства транспорта Российской Федерации от 17 марта 2016 г. № 43 «Об утверждении Правил подготовки проектов и схем организации дорожного движения» [6] разработан ряд методических документов, которые определяют те или иные аспекты разработки ПКРТИ, КСОДД, ПОДД для городов и городских агломераций (рис. 1).

Так, Министерством транспорта Российской Федерации, Федеральным казенным учреждением «Дирекция государственного заказчика по реализации федеральной целевой программы «Модернизация транспортной системы России» в период с 2015 по 2017 г. было заказано множество научно-исследовательских работ по разработке методических документов, направленных на решение стратегических задач по формированию эффективных транспортных систем городов и регионов.

На основании проведенного анализа разработанных методических документов можно сделать ряд выводов. Во-первых, к настоящему времени уже создано и проведено избыточное количество методик и научно-исследовательских работ в области транспортного планирования. Для того чтобы методические документы выполняли основную свою функцию — помогали формировать эффективную транспортную систему в городе и в городской агломерации, необходимо, чтобы выполнялось два основных правила:

- методические документы должны быть привязаны к законодательным и нормативным актам, а не к конкретным проблемам, идеям, процессам или программным продуктам;
- методические документы должны помогать достигать цель и оценивать качество проектов, а не рассказывать, как нужно проводить расчеты и работать с программными продуктами.

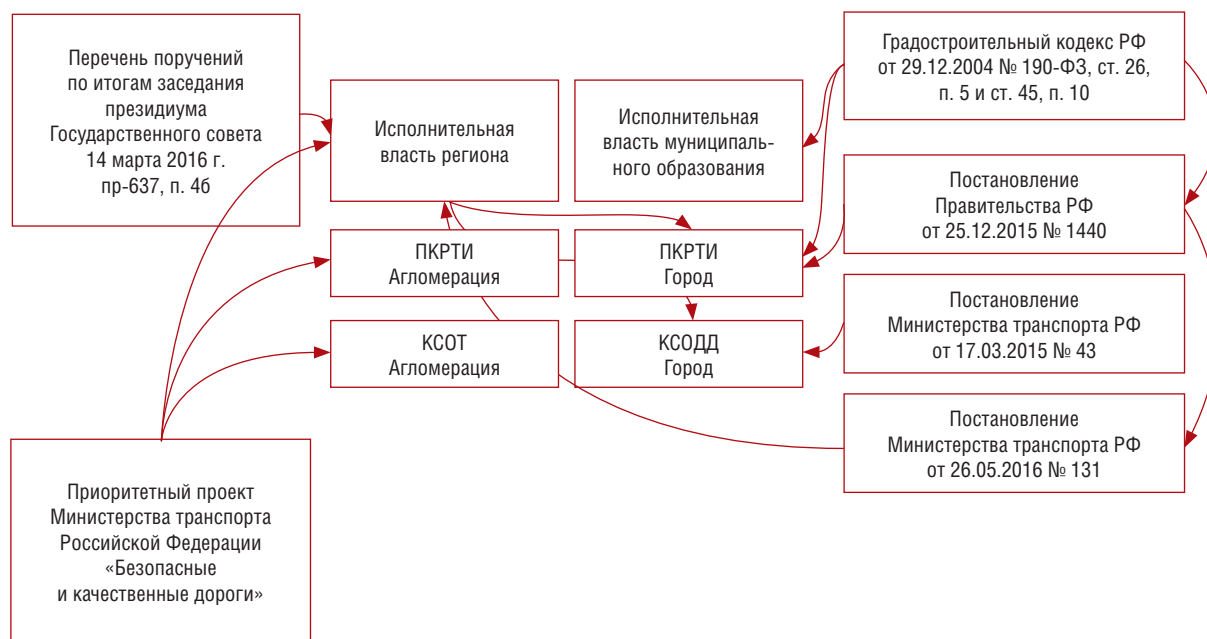


Рис. 1. Анализ правового поля по формированию эффективных транспортных систем городов и регионов

Во-вторых, уже на начальном этапе некоторые разработанные методические документы показали свою несостоятельность. К таким методическим документам можно отнести «Методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения. Использование программных продуктов математического моделирования транспортных потоков при оценке эффективности проектных решений в сфере организации дорожного движения» [7]. В п. 6.4.8 указанных методических рекомендаций отмечено, что для оценки качества и эффективности КСОДД можно воспользоваться интегральными и локальными показателями в соответствии с ОДМ «Методические рекомендации по оценке качества организации дорожного движения». Однако такого документа не существует. Еще одним примером несостоятельности методического документа может стать разработанный «Социальный стандарт транспортного обслуживания населения при осуществлении перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом» [8], в котором представлена методика оценки качества транспортного обслуживания населения при осуществлении перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом по маршрутам регулярных перевозок.

Для примера оценим качество транспортного обслуживания в одном из городов. Пусть в городе П существует один маршрут автобуса, связывающий все остановки в городе, на маршруте работает один автобус высокого экологического класса, предназначенный для перевозки

маломобильных групп пассажиров, с системой климат-контроля, с системой информирования пассажиров, который делает один рейс в сутки, возможно, ночью. Мы получим, что сумма всех показателей составит 130 баллов (максимум из возможного), т.е. в таком городе будет самое высокое качество транспортного обслуживания населения. Очевидно, что такой вывод не соответствует здравому смыслу.

В-третьих, во многих разработанных методических документах по формированию эффективных транспортных систем городов и регионов содержится избыточное количество требований. К примеру, в методических документах «О требованиях к подготовке комплексных схем организации транспортного обслуживания населения общественным транспортом для городских поселений и агломераций (КСОТ)» в п. 6.8.2 сказано, что необходимо учитывать объем пассажиро- и грузоперевозок, осуществляемых, в частности, трамваем; более того, необходимо учитывать объем грузооборота железнодорожного вокзала (вокзалов) и железнодорожных станций, расположенных на территории городского поселения (городской агломерации) и т.д. [9]. Эти требования не только усложняют и удорожают проводимые работы, но и являются избыточными с точки зрения выработки управленческих решений в области совершенствования работы городского пассажирского транспорта общего пользования.

Общероссийская общественная организация «Российская академия транспорта» поддерживает деятельность Министерства транспорта Российской Федерации в области формирования законодательной базы, а также



разработки нормативных документов для формирования эффективных транспортных систем в городах, регионах и крупных городских агломерациях. В частности, на сайте Российской академии транспорта представлены типовые технические задания на разработку ПКРТИ и КСОДД в муниципальных образованиях, а также задания на разработку ПКРТИ и КСОТ городских агломераций, предложены типовые критерии по отбору исполнителей научно-исследовательских и проектных работ в области транспортного планирования городов и регионов, ведется рейтинг предприятий и организаций, выполняющих научно-исследовательские и проектные работы в области транспортного планирования городов и регионов [10] (рис. 2).

Особое внимание следует уделить формированию цены контрактов на выполнение научно-исследовательских работ на разработку КСОДД, ПКРТИ и ПОДД. Российской академией транспорта был проведен анализ заказанных за последние три года научно-исследовательских работ на разработку КСОДД, ПКРТИ и ПОДД в городах России, размещенных на сайте единой информационной системы в сфере закупок [11].

Проведенный анализ показал, что средняя цена контракта на выполнение научно-исследовательских работ на разработку КСОДД в расчете на тысячу человек составит 49979,63 руб., на разработку ПКРТИ — 39618,9 руб., на разработку ПОДД — 13 604,73 руб. На основе представленного анализа построены логарифмические мо-

дели зависимости цены контракта на выполнение научно-исследовательских работ от численности населения муниципального образования и выведены уравнения для расчета начальной цены контракта на выполнение научно-исследовательской работы на разработку комплексной схемы организации дорожного движения, программы комплексного развития транспортной инфраструктуры, проекта организации дорожного движения (1)–(3):

$$U_{\text{КСОДД}} = 7,031527 \cdot \ln(x) - 24,717305, \quad (1)$$

$$U_{\text{ПКРТИ}} = 3,526342 \cdot \ln(x) - 10,782966, \quad (2)$$

$$U_{\text{ПОДД}} = 0,2307 \cdot \ln(x) - 0,1703 \quad (3), \quad (3)$$

где  $U_{\text{КСОДД}}$  — начальная цена контракта на выполнение научно-исследовательской работы на разработку КСОДД (млн руб.);  $U_{\text{ПКРТИ}}$  — начальная цена контракта на выполнение научно-исследовательской работы на разработку ПКРТИ (млн руб.);  $U_{\text{ПОДД}}$  — начальная цена контракта на выполнение научно-исследовательской работы на разработку ПОДД (млн руб.);  $x$  — численность населения в муниципальном образовании (тыс. чел.).

Представленные формулы для расчета начальной цены контракта могут быть использованы при подготовке конкурсной документации на выполнение научно-исследовательских работ.

Место в общем рейтинге	Название организации	Количество успешно выполненных контрактов за период с 01.01.2014 (шт)	Количество неуспешно выполненных контрактов за период с 01.01.2014 (шт)	Балл в общем рейтинге
1.	ООО «Научно-исследовательский и проектный институт территориального развития и транспортной инфраструктуры» (НИПИ ТРТИ)	14	0	0,46187
2.	ОАО «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта» (НИИАТ)	5	1	0,25215
3.	ООО «Агентство дорожной информации РАДАР»	15	0	0,22005
4.	ООО «Строй Инвест Проект»	35	0	0,10920
5.	ООО «Корпус»	6	1	0,09
6.	ООО «ДорМостПроект» (ИНН 3664103312)	95	6	0,03514
7.	ООО «ДорМостПроект» (ИНН 3663064188)	9	0	0,00083
8.	АО «Институт «Стройпроект»	1	0	0,00044
9.	Корпорация «Строй Инвест Проект М»	2	1	0,00028

Типовые критерии по отбору исполнителей научно-исследовательских и проектных работ в области транспортного планирования городов и регионов представлены здесь:

[Типовые критерии по отбору исполнителей.docx](#)

Типовое техническое задание на разработку Программы комплексного развития транспортной инфраструктуры и Комплексной схемы организации дорожного движения муниципального образования представлено здесь:

[Типовое техническое задание на разработку ПКРТИ и КСОДД муниципального образования.docx](#)

Типовое техническое задание на выполнение работ по разработке Программы комплексного развития транспортной инфраструктуры городской агломерации и Комплексной схемы организации транспортного обслуживания населения городской агломерации общественным транспортом:

[Типовое техническое задание на разработку ПКРТИ и КСОТ агломерации.docx](#)

Рис. 2. Фрагмент сайта Российской академии транспорта [10]



Таким образом, требования действующего российского законодательства, а также цели и задачи приоритетного проекта Министерства транспорта Российской Федерации, который называется «Безопасные и качественные дороги», формируют устойчивый заказ со стороны органов региональной власти, органов местного самоуправления на разработку методических и нормативных документов, позволяющих на местах формировать государственные и муниципальные заказы на выполнение

научно-исследовательских работ по разработке стратегических документов в области транспортного планирования. В настоящий момент всем разработчикам законодательной, нормативной и методической литературы необходимо консолидировать свои усилия по созданию единой системы методических документов, призванных максимально быстро, эффективно и с наименьшими затратами реализовать требования российского законодательства и приоритетных национальных проектов. **ИТ**

## Список литературы

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ — URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_51040](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040).
2. Постановление Правительства от 25 декабря 2015 г. № 1440 «Об утверждении требований к программам комплексного развития транспортной инфраструктуры поселений, городских округов». — URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71196074>.
3. Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 26.05.2016 № 131 «Об утверждении порядка осуществления мониторинга разработки и утверждения программ комплексного развития транспортной инфраструктуры поселений, городских округов». — URL: <https://minjust.consultant.ru/documents/19711>.
4. Перечень поручений по итогам заседания президиума Государственного совета от 14 марта 2016 г. — URL: <http://www.kremlin.ru/acts/assignments/orders/51709>.
5. Приоритетный проект Министерства транспорта Российской Федерации «Безопасные и качественные дороги». — URL: [https://www.mintrans.ru/activity/detail.php?SECTION\\_ID=2845](https://www.mintrans.ru/activity/detail.php?SECTION_ID=2845).
6. Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 17 марта 2015 г. № 43 «Об утверждении Правил подготовки проектов и схем организации дорожного движения». — URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70993350>.
7. Методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения. Использование программных продуктов математического моделирования транспортных потоков при оценке эффективности проектных решений в сфере организации дорожного движения. — URL: [https://www.mintrans.ru/upload/iblock/0d7/5\\_mat\\_model.pdf](https://www.mintrans.ru/upload/iblock/0d7/5_mat_model.pdf).
8. Социальный стандарт транспортного обслуживания населения при осуществлении перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом. — URL: <http://www.proecotrans.ru/upload/iblock/999/9997c12b072d0f510987edd072e81a1c.pdf>.
9. Проект методических рекомендаций «О требованиях к подготовке комплексных схем организации транспортного обслуживания населения общественным транспортом для городских поселений и агломераций (KCOT)». — URL: <http://bkd.rosdornii.ru/file/iblock/7f3/document.pdf>.
10. Рейтинг предприятий и организаций, выполняющих научно-исследовательские и проектные работы в области транспортного планирования городов и регионов. — URL: <http://itp.rosacademtrans.ru/rejting-predpriyatiy>.
11. Сайт единой информационной системы в сфере закупок. — URL: <http://www.zakupki.gov.ru/epz/main/public/home.html>.



Марина  
Аркадьевна  
Журавская

Marina A.  
Zhuravskaya



Яна  
Алексеевна  
Бучельникова

Yana A.  
Buchelnikova



Полина  
Александровна  
Парсюрова

Polina A.  
Parsyurova

## Формирование дружелюбного мультимодального пространства современного города

### Shaping a friendly multimodal space of a modern city

#### Аннотация

Статья посвящена вопросам формирования транспортно-логистического пространства современного города на основе принципов мультимодализма. Уточнено понятие «дружелюбное мультимодальное пространство». Проведен сравнительный анализ систем общественного транспорта городов Европы и России. Разработана принципиальная схема организации мультимодальной пассажирской перевозки. Сделан акцент на организацию дружелюбного пространства транспортно-пересадочного узла — основного элемента мультимодальной перевозки. Предложен футуристический интерьер терминала транспортно-пересадочного узла, насыщенный технологиями будущего, но в то же время ориентированный на массового потребителя.

**Ключевые слова:** транспортно-пересадочные узлы (ТПУ), городской общественный транспорт, дружелюбное мультимодальное пространство.

#### Abstract

The article is devoted to the formation of the transport and logistics space of a modern city on the basis of the principles of the multimodalism. The notion of “friendly multimodal space” is specified. A comparative analysis of the public transport systems of the cities of Europe and Russia is carried out. The principal scheme of organization of multimodal passenger transportation has been developed. The emphasis was placed on the organization of the friendly space of the transport and transfer junction as the main element of multimodal transportation. Offered the futuristic interior for the terminal of the transport and transfer junction, saturated with the technologies of the future, but at the same time oriented to the mass consumer.

**Keywords:** transport-transfer junctions, urban public transport, friendly multimodal space.

DOI:10.20291/2311-164X-2017-3-8-14

#### Авторы Authors

**Марина Аркадьевна Журавская**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Мировая экономика и логистика» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: MZhuravskaya@usurt.ru | **Яна Алексеевна Бучельникова**, магистрант кафедры теории и истории архитектуры Уральского государственного архитектурно-художественного университета, Екатеринбург; e-mail: buchelnikova.yana@mail.ru | **Полина Александровна Парсюрова**, инженер ОАО «РЖД»; e-mail: PAParsyurova@usurt.ru

**Marina Arkadevna Zhuravskaya**, Cand. of Tech. Sciences, Associate Professor of the Department «World Economy and Logistics» of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: MZhuravskaya@usurt.ru | **Yana Alekseevna Buchelnikova**, Master of the Department of Theory and History of Architecture of Ural State University of Architecture and Arts, Ekaterinburg; e-mail: buchelnikova.yana@mail.ru | **Polina Aleksandrovna Parsyurova**, Engineer of JSC «Russian Railways», e-mail: PAParsyurova@usurt.ru

Выбор темы настоящего исследования обусловлен переходом общества на принципы устойчивого развития, когда наряду с экономическими факторами значение приобретают социальные и экологические факторы [1]. И понятие дружелюбного транспортно-логистического пространства, дружелюбного транспорта [2] лежит в плоскости, где пересекаются интересы этих сфер жизни: экономики, экологии и социальной сферы (рис. 1). Дружелюбное транспортное пространство создается в первую очередь для жителя города, который постоянно оказывается в роли пешехода, пассажира или автолюбителя — одним словом, участника транспортного процесса, во вторую очередь — для перевозчиков — городского общественного транспорта и, конечно же, для самого города. Поэтому формирование дружелюбной транспортно-логистической среды становится одной из современных тенденций современных городов.

Под «дружелюбным мультимодальным пространством» мы понимаем удобную и безопасную (включая и экологическую безопасность) среду с множеством передвижений и взаимодействий людей и транспорта в городской агломерации. Построить такую дружелюбную среду сегодня можно не только на основе объединения различных видов городского общественного транспорта в единый транспортный процесс, но и путем создания единства городского и транспортно-логистического пространства, устранения противоречий между транспортной инфраструктурой и городской средой, а также, что особенно важно, путем улучшения условий транспортной доступности для каждого пассажира.

В западноевропейских городах неотъемлемым элементом городской культуры становится приоритет общественного транспорта (*right-of-way* — право преимущественного движения). Европейские города освобождают территорию своих исторических центров от многоуровневых развязок, построенных в прошлые годы в попытках удовлетворить спрос на автомобильную мобильность [3–4]. В первую очередь предпочтение отдается пешеходам, новым линиям общественного транспорта, развитию велосипедной инфраструктуры и зон ограниченного автомобильного доступа, таким образом организуется дружелюбное транспортно-логистическое пространство. Эти тенденции первоначально проявились в Германии, Нидерландах, Скандинавии, а сегодня их можно считать универсальными для всей Западной Европы. К сожалению, в городах России наблюдается совершенно другая ситуация (рис. 2).

Авторы настоящей статьи не выступают за преимущественное право движения для пешеходов, но согласны с подходом, при котором достигается баланс между пешеходом и транспортом, между личным и общественным транспортом. И, опираясь на лучший опыт европейских городов с дружелюбными транспортными системами, уверены, что реализовать дружелюбную транспортную среду современного города можно только на основе

принципов мультимодализма и организации мультимодальных пассажирских перевозок в системе городского общественного транспорта. Чтобы перейти на мультимодальные технологии, современному городу необходимо интегрировать различные виды пассажирского транспорта в единую транспортную систему, что, в свою очередь, возможно при организации:

- сети транспортно-пересадочных узлов;
- единого диспетчерского центра управления перевозками;
- единого проездного документа (рис. 3) [5].



Рис. 1. Дружелюбный транспорт



Рис. 2. Право преимущественного движения в Европе и России



Рис. 3. Схема мультимодальной пассажирской перевозки и комплекс мероприятий для ее организации



В данной работе основной акцент сделан на организацию пространства мультимодальных транспортно-пересадочных центров или узлов, главная задача которых — удобство и скорость пересадки пассажира при смене вида транспорта. Они могут быть разными: многоуровневыми, как вокзал в Берлине, где на четырех этажах соседствуют междугородний, пригородный и городской наземный транспорт, а также метро, или одноуровневыми, как в Цюрихе — городе, входящем в пятерку городов мира с самой дружелюбной средой проживания.

Современные ТПУ позволяют снизить вредное воздействие на окружающую среду в мегаполисе. Сегодня транспортно-пересадочный комплекс — это высоко урбанизированная среда, где задействовано два и более уровней, включая подземные и надземные; обслуживание происходит тремя и более видами транспорта, осуществляется максимально короткая и комфортная пересадка пассажиров с одного вида транспорта на другие [6]. Современный ТПУ, по сути, конгломерат различных зданий и сооружений, которые вместе с площадями, парковками и прилегающими пространствами составляют значительные компоненты городской среды [7]. Транспортно-пересадочные узлы решают несколько важных задач современного города. К задачам формирования дружелюбной транспортной среды относятся: снижение нагрузки на транспортную сеть, сокращение вредных выбросов в атмосферу за счет того, что пассажиропоток перенаправляется с личного на общественный транспорт (прежде всего — на рельсовый) [6] и т.д.

ТПУ является сложной транспортно-логистической системой, включающей отдельные подсистемы, как правило, несколько видов «внешнего» транспорта, взаимодействующих с различными видами «внутреннего» транспорта (рис. 4).

Современные ТПУ подразделяются на плоскостные и капитальные. Хабы первого типа предлагают перехватывающую парковку, где автолюбители оставляют машины и пересаживаются на метро или перроны для отправления наземного транспорта. Например, в Москве крупнейшая такая парковка расположена у станции метро «Аннино» — там организована стоянка почти на 1500 автомобилей, а на «Щукинской» есть три крытых перрона для автобусов.

Капитальный ТПУ представляет собой многоуровневый комплекс, где, помимо парковок, расположены остановки общественного транспорта и залы ожидания. Крытые переходы защищают пассажиров от капризов погоды, поэтому такой вид пересадки часто называют «сухие ноги» (рис. 5).

Кроме того, на капитальных пересадочных узлах создается разнообразная инфраструктура с широким набором услуг. Сюда относятся не только кафе и магазины, но и любые востребованные объекты: салоны красоты, кинотеатры, почтовые и банковские отделения, фитнес-клубы, офисные центры и так далее. Именно поэтому современные ТПУ занимают третье место (после дома и работы), где городской житель проводит много времени.



Рис. 4. Структура ТПУ [8]

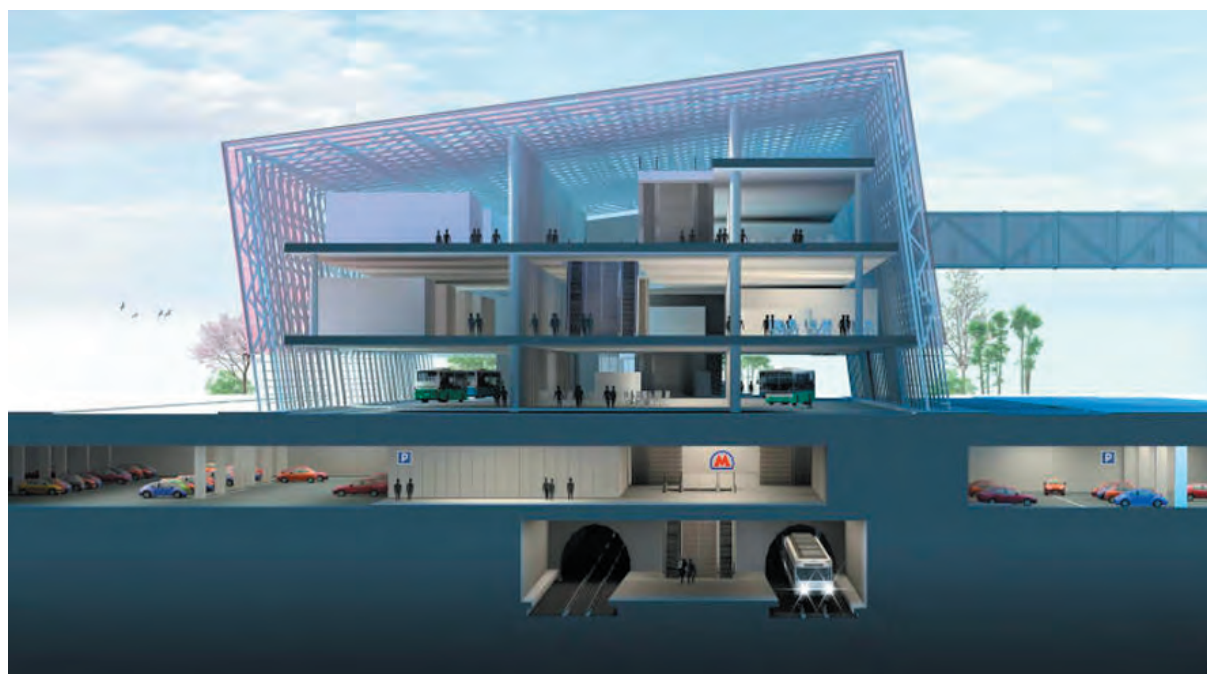


Рис. 5. Проектное решение ТПУ. Стройкомплекс Москвы [9]

Таким образом, актуальным вопросом становится организация внутреннего пространства ТПУ. При рассмотрении этого вопроса авторами была определена цель — создание оригинального стиля транспортного узла будущего, с дружелюбной для каждого пассажира средой функционирования.

Хорошо известно, что для большинства граждан любые перемещения, в особенности с пересадками, являются предметом стресса. Преодолевая ряд трудностей, таких как поиск нужной платформы, ожидание рейса, хранение и перемещение багажа и др., человек теряет большое количество энергии. Для того чтобы облегчить эту стрессовую ситуацию, среда таких центров должна максимально адаптироваться под человека и обеспечивать минимальные временные затраты (до 10 минут) на пересадку с одного вида транспорта на другой [10].

Имея комфортные условия передвижения на общественном транспорте, люди начнут отказываться от личного автомобиля, что, в свою очередь, позволит установить в мегаполисах гуманную экологическую или дружелюбную среду, отвечающую принципам зеленой логистики [11], а также лучшим представлениям о будущем планеты.

Транспортные узлы выполняют множество функций. Транспортная функция является определяющей, однако она может быть эффективно реализована только совместно с коммуникационной, торговой, культурно-развлекательной, экологической и эстетической. Все они должны работать на создание дружелюбной для человека транспортно-логистической среды. Следовательно,

проектируемый транспортно-пересадочный узел должен содействовать пассажиру во всех вопросах, а зона ожидания — обеспечивать восстановление сил и вдохновлять на новые путешествия.

Авторами настоящего исследования предлагается проект ТПУ, который ориентирован на массового потребителя будущего, на эволюцию его ценностей и ориентиров. Это позволяет использовать последние разработки мировых ученых и концепты новых видов транспорта, созданные, протестированные, но еще не дошедшие до массового применения. На схеме функционального зонирования (рис. 6.) видно, что каждый этаж отвечает за свой вид транспорта.

Проект имеет четко выраженную вертикальную ось, вокруг которой складывается объемно-пространственная композиция.

Исследование зарубежных аналогов показало, что проектирование ТПУ в большинстве случаев ограничивается организацией пассажиропотоков и созданием типовой системы навигации. Нам хотелось сделать шаги к проектированию внутренней среды и самоощущению человека в ней, поэтому цель данной части работы — предложить оригинальный стиль оформления внутреннего пространства ТПУ Екатеринбурга.

Главная идея навигации внутри центра заключается в создании неких структур-перегородок. Они образуют сеть коридоров, лишаящих человека возможности свернуть не на тот путь. Входы в эти тоннели выделены цветом, присвоенным данному виду транспорта, а выходы из них скрыты от глаз (рис. 7) [12].



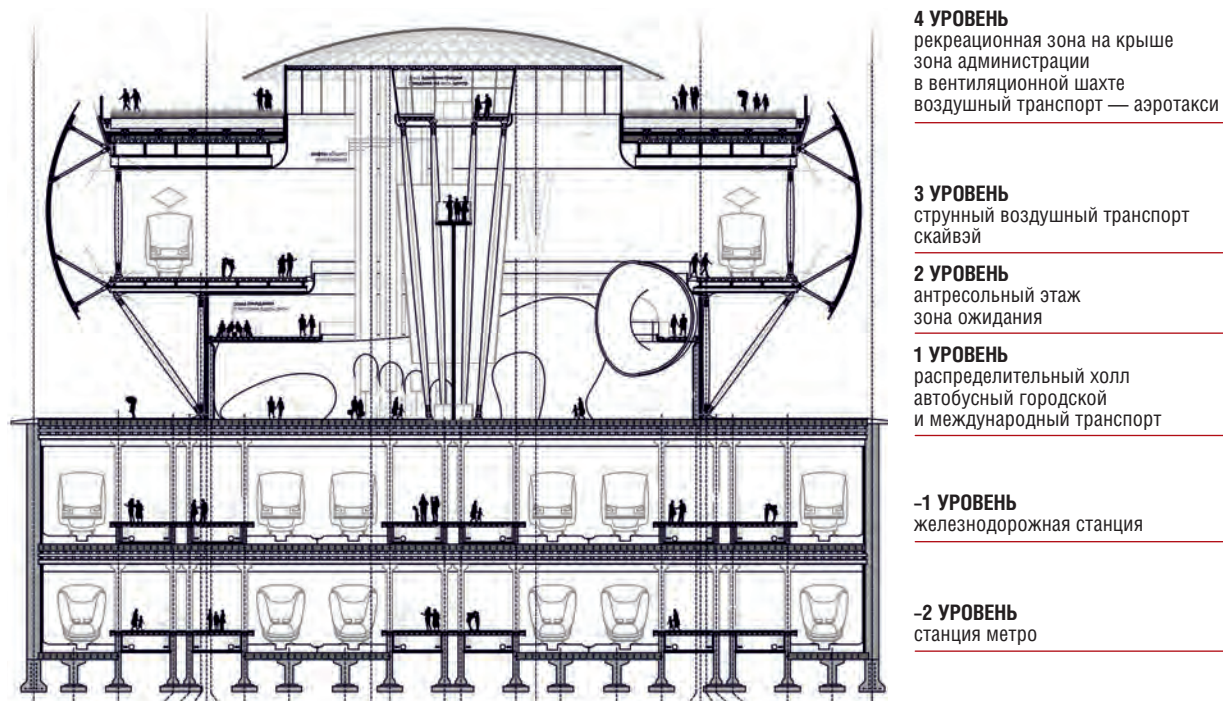


Рис. 6. Разрез проектируемого ТПУ с предложенным функциональным зонированием по этажам [12]



Рис. 7. Внутренние объемно-пространственные решения ТПУ

Ориентация на потребителя будущего позволила нам предложить поэтажное зонирование, где каждый уровень отвечает за определенный вид транспорта. Были проанализированы и разведены пассажиропотоки внутри ТПУ, организована схема перемещения человека внутри распределительного холла, а также проработано расположение необходимой навигации: визуальной, слуховой, тактильной. На схеме (рис. 8) представлены навигационные решения для пассажира ТПУ [12].

Особенностью предлагаемого авторами проекта стал футуристический интерьер терминала транспортно-пе-

ресадочного узла, насыщенный технологиями будущего, но в то же время ориентированный на массового потребителя. Дизайн этого направления интегрирует инновации, адекватные и актуальные в будущем. Такое проектирование не предназначено для немедленного внедрения, но намечает перспективные дизайнерские идеи и направления. Таким образом, создаются уникальные образы решений для дружелюбной транспортно-логистической среды города будущего (рис. 9).

Интерьер транспортно-пересадочного узла построен на следующих принципах организации внутренней среды:



1. Доступная, информированная среда с ясной, читаемой навигацией.
2. Новизна, высокотехнологичность пространства.
3. Экологичная, чистая, гуманная атмосфера.
4. Динамичность, поражающая воображение.
5. Чувство места: уникальность, отражающая местоположение ТПУ.

Стиль внутреннего пространства ТПУ разработан для города Екатеринбурга, однако его можно интерпретировать под любой транзитный центр, вокзал или станцию метрополитена. Выработанные принципы являются универсальными для проектирования подобных объектов, позволяют создать атмосферу, отвечающую лучшим представлениям о будущем планеты.

Авторами детально проработан вопрос формирования дружелюбного мультимодального пространства на примере ТПУ. Безусловно, на этом нельзя останавливаться, и для комплексной реализации программы дружелюб-

ного мультимодального пространства современного города необходимо решение как минимум еще двух задач. Это создание единого диспетчерского центра управления перевозками [13] и разработка системы тарифов для разных сценариев транспортного обслуживания [5].

Таким образом, в результате проделанной авторами работы выполнен проект «Транспортно-пересадочный узел — основа дружелюбного мультимодального пространства города Екатеринбурга», построенный на принципах «UNICityArea: Универсальное — Унифицированное — Уникальное городское пространство», который позволит выйти на новый уровень предоставления пассажирам транспортных услуг: быстрое, экономичное перемещение по городу с бережным отношением к окружающей среде. **ИТ**

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, проект № 16-06-00464.*

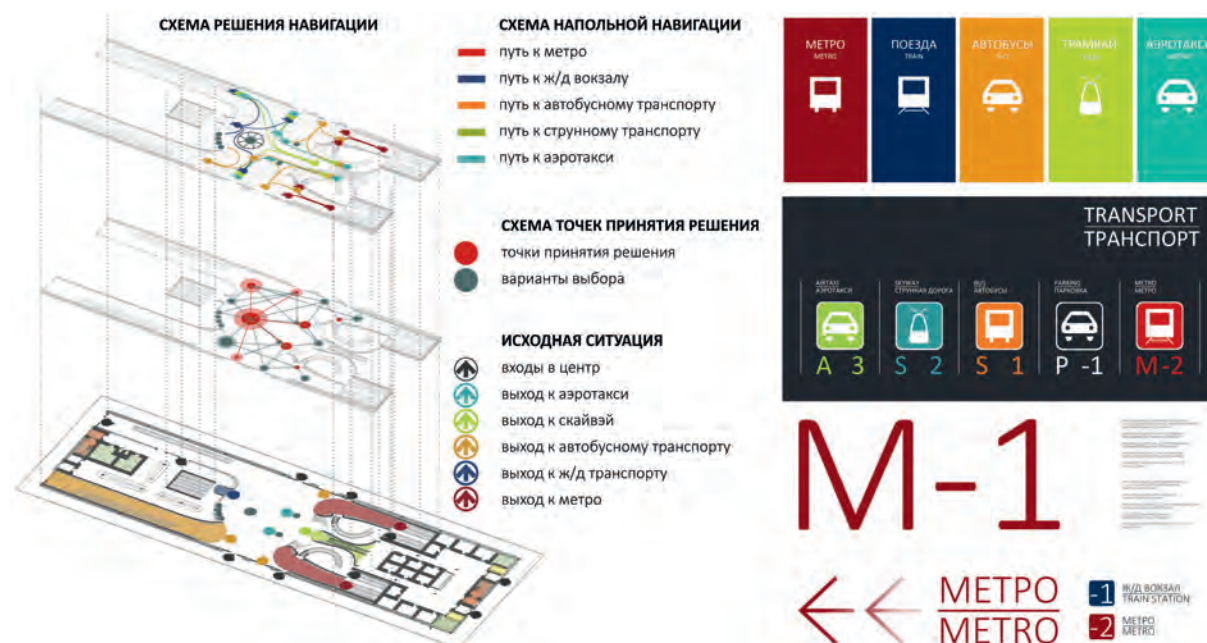


Рис. 8. Решения навигации в ТПУ



Рис. 9. Организация внутреннего пространства ТПУ: зоны ожидания внешнего транспорта [12]

## Список литературы

1. Журавская М. А., Лемперт А. А., Маслов А. М., Гашкова Л. В. Функционирование транспортно-логистических систем с учетом оценки экологических последствий // Инновационный транспорт. — 2015. — № 4 (18). — С. 31–37. — ISSN 2311–164X.
2. Петров М. Б., Журавская М. А., Левченко М. А. Пути и возможности формирования дружественной сети регионального и городского общественного транспорта при создании ВСМ // Инновационный транспорт. — Екатеринбург, 2016. — № 4(22). — С. 3–8. — ISSN 2311–164X.
3. Olívková I. Public transport in Czech Republic // Transport problems. — 2008. — Т. 3. — Р. 53–58.
4. Olszewski P., Krukowski P. Quantitative assessment of public transport interchanges [Электронный ресурс]. — URL: [https://www.researchgate.net/profile/Piotr\\_Olszewski2/publications](https://www.researchgate.net/profile/Piotr_Olszewski2/publications) (дата обращения: 29.07.2015).
5. Журавская М. А., Бучельникова Я. А., Кондратьева А. В. Пространственные решения организации ТПУ — важный элемент концепции дружелюбной транспортно-логистической среды города // Вестник УрГУПС. — Екатеринбург, 2017. — № 3(35). — С. 53–62. — ISSN 2079–0392.
6. Журавская М. А., Казаков А. Л., Жарков М. Л., Парсюрова П. А. Моделирование работы транспортно-пересадочного узла мегаполиса как трехфазной системы массового обслуживания // Транспорт Урала. — 2015. — № 3 (46). — С. 17–22. — ISSN 1815–9400.
7. Интермодальные перевозки в пассажирском сообщении с участием железнодорожного транспорта : учеб. пособие / С. П. Вакуленко и др.; под ред. С. П. Вакуленко. — М. : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013.
8. Козлов П. И., Власов Д. Н. Оценка параметров качества обслуживания пассажиров в транспортно-пересадочных узлах // Вестник МГСУ. — 2017. — № 5 (104). — С. 529–536. — ISSN 1997–0935.
9. Децентрализация столицы: как пересадочные узлы меняют жизнь Москвы // Официальный сайт Мэра Москвы [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.mos.ru/news/item/18314073/> (дата обращения: 29.08.2017).
10. Журавская М. А., Казаков А. Л., Парсюрова П. А. О размещении остановочных пунктов при осуществлении мультимодальных пассажирских перевозок // Транспорт Урала. — 2012. — № 4 (35). — С. 50–53. — ISSN 1815–9400.
11. Журавская М. А. «Зеленая» логистика — стратегия успеха в развитии современного транспорта // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. — 2015. — № 1 (25). — С. 38–48. — ISSN 2079–0392.
12. Бучельникова Я. А. Холл транспортно-пересадочного узла : выпускная квалификационная работа / рук. Шамшуров С. С. — Екатеринбург : УрГАХУ, 2017.
13. Смородинцева Е. Е., Журавская М. А., Смородинцева Т. А. Проблемы и перспективы управления городским общественным транспортом Екатеринбурга в условиях логистической интеграции // Инновационный транспорт. — 2017. — № 3 (25). — С. 15–20. — ISSN 2311–164X.



**Елена  
Егоровна  
Смординцева**  
Elena E.  
Smorodintseva



**Марина  
Аркадьевна  
Журавская**  
Marina A.  
Zhuravskaya



**Татьяна  
Андреевна  
Смординцева**  
Tatyana A.  
Smorodintseva

## Проблемы и перспективы управления городским общественным транспортом Екатеринбурга в условиях логистической интеграции

### The problems and prospects of managing the urban public transport of Yekaterinburg in the conditions of logistical integration

#### Аннотация

Городской общественный транспорт — один из важнейших социальных институтов современного общества, неотъемлемый элемент социальной инфраструктуры городов. Однако в последнее время его популярность снижается, так как разрозненный общественный транспорт городов России не в состоянии предоставить пассажирам качественную транспортную услугу. Зачастую проблемы коренятся не в технологической отсталости транспорта, а в слабых организационных процедурах, в отсутствии логистической интеграции и координации видов городского транспорта. В ходе настоящего исследования были изучены системы управления городским общественным транспортом в разных городах мира. Определено, что в качестве образца-аналога Екатеринбургу подходит транспортная система Праги, где управление городским общественным транспортом осуществляется из единого центра управления. В статье предложена схема управления ГОТ в Екатеринбурге.

**Ключевые слова:** городской общественный транспорт (ГОТ), мультимодальные пассажирские перевозки, единый центр управления, логистическая интеграция.

#### Abstract

Urban public transport (UPT) is one of the most important social institutions of modern society, an integral element of the social infrastructure of cities. However, recently its popularity is declining, as the scattered public transport of Russian cities is not able to provide a quality transport service to the passengers. Often the problems are rooted not only in the technological backwardness of transport but in weak organizational procedures, a lack of logistical integration and coordination of types of urban transport. The urban public transport management systems in different cities of the world were studied in the course of this study. It is determined that the transport system of Prague is suitable as an analog for Yekaterinburg, where the management of urban public transport is carried out from a single control center. The article proposes a scheme for managing UPT in Yekaterinburg.

**Keywords:** urban public transport (UPT), multimodal passenger transportation, single control center, logistics integration.

DOI:10.20291/2311-164X-2017-3-15-20

#### Авторы Authors

**Елена Егоровна Смординцева**, доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: [ESmorodintseva@usurt.ru](mailto:ESmorodintseva@usurt.ru) | **Марина Аркадьевна Журавская**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Мировая экономика и логистика» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: [MZhuravskaya@usurt.ru](mailto:MZhuravskaya@usurt.ru) | **Татьяна Андреевна Смординцева**, студентка 4 курса факультета управления процессами перевозок Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: [ESmorodintseva@yandex.ru](mailto:ESmorodintseva@yandex.ru).

**Elena Egorovna Smorodintseva**, Associate Professor of the «Operations Management» Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: [ESmorodintseva@usurt.ru](mailto:ESmorodintseva@usurt.ru) | **Marina Arkadevna Zhuravskaya**, Cand. of Tech. Sciences, Associate Professor of the Department «World Economy and Logistics» of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: [MZhuravskaya@usurt.ru](mailto:MZhuravskaya@usurt.ru) | **Tatyana Andreevna Smorodintseva**, 4th-year student of the Faculty of Transportation Processes Management of Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg; e-mail: [ESmorodintseva@yandex.ru](mailto:ESmorodintseva@yandex.ru).



С конца прошлого столетия городской общественный транспорт (ГОТ) практически полностью утратил элементы комплексного планирования своего развития, которое применялось в советский период. Города России шли по пути дерегулирования сферы транспортных услуг и разрушения интеграции между системами городского общественного транспорта [1].

В настоящее время разрозненный общественный транспорт городов России не в состоянии предоставить пассажирам качественную транспортную услугу. Между тем растущее население городов все активнее предъявляет транспорту новые требования: соблюдение надежно-высокой скорости перевозки, обеспечение дорожно-транспортной и экологической безопасности, предоставление актуальной информации о местонахождении транспортных средств, создание комфортных и эстетически привлекательных условий поездки и пересадки с одного вида транспорта на другой и т.д. Выполнить эти требования возможно при переходе ГОТ на принципы логистической интеграции. Применительно к предприятиям городского пассажирского транспорта можно выделить такие принципы интеграции, как получение синергетического эффекта, возможность использования гибкой тарифной политики, сохранение городского транспорта как отрасли жизнеобеспечения, снижение потребности в оборотных средствах, повышение качества управления [1].

В пользу усиления управления на городском транспорте выступал известный ученый-урбанист В. Вучик [2]. Он отмечал, что транспортные проблемы городов, как правило, коренятся не в технологической отсталости транспорта, а в близорукой политике и слабых организационных процедурах, в отсутствии логистической интеграции и координации видов транспорта.

Что же такое логистическая интеграция применительно к городскому общественному транспорту при предоставлении им качественной услуги населению? Очевидно, что это организация мультимодальной пассажирской перевозки. Под мультимодальной пассажирской перевозкой понимается перевозка пассажиров двумя и более видами транспорта под ответственностью одного оператора по единому билету с целью удовлетворения потребности населения в перевозках [3].

Переход на мультимодальные технологии — процесс сложный, многоэтапный. Городу необходимо реализовать комплекс мероприятий, позволяющий интегрировать различные виды пассажирского транспорта в единую городскую транспортную систему таким образом, чтобы это было прежде всего удобно и комфортно пассажиру, а также выгодно и надежно видам транспорта — участникам перевозочного процесса. Комплекс мероприятий включает в себя:

- создание сети транспортно-пересадочных узлов (ТПУ);

- организацию единого диспетчерского центра управления перевозками городского общественного транспорта (ЕЦУП);
- формирование единого для всех видов транспорта проездного документа — единого билета с эффективной системой тарификации.

В настоящее время учеными широко освещаются вопросы организации ТПУ [3–9]. Однако работы, посвященные единым центрам управления, а также вопросам ценообразования на городском общественном транспорте в условиях перехода города на мультимодальные технологии, практически отсутствуют. В данной работе основной акцент сделан именно на организацию работы единого центра управления ГОТ (рис. 1). В качестве объекта исследования выбран городской общественный транспорт города Екатеринбурга, а также городов мира с успешно функционирующими транспортными системами. Предметом исследования стала система управления городским общественным транспортом.

Анализ существующей в Екатеринбурге системы координации деятельности частных перевозчиков со стороны муниципальных структур выявил, что она не является эффективной: частные перевозчики не придерживаются полученных графиков движения, игнорируют диспетчеризацию управления, выключая радиостанции на маршрутах, ведут открытую борьбу за пассажиров с муниципальным транспортом и между собой, порой с грубыми нарушениями ПДД. Не имея автопарков, частные перевозчики хранят транспортные средства на частных стоянках (чаще там, где живет водитель или владелец конкретного автобуса), в результате не проводится медицинский контроль водителя, выезжающего на маршрут, а также регулярное ТО транспортного средства [10]. Таким образом, при существующей системе управления городским общественным транспортом Екатеринбурга прослеживается тенденция к полному вытеснению муниципального транспорта с улиц города. Назрела необходимость реформирования системы управления городским общественным транспортом с целью повышения его эффективности и рентабельности.

Для решения этой задачи авторы обратились к лучшему мировому опыту, чтобы на основе бенчмаркинговых технологий определить перспективные направления развития системы управления ГОТ [11]. В ходе работы исследована работа городского общественного транспорта в разных городах мира с эффективно работающими транспортными системами и проведено сравнение с Екатеринбургом, результаты представлены в табл. 1.

Сравнительный анализ показал, что наиболее близкой к системе ГОТ Екатеринбурга является транспортная система города Праги (табл. 2). Прага и Екатеринбург имеют примерно одинаковую площадь, количество жителей и число административных районов, однако плотность сети дорог Праги в 3 раза больше, чем в Екатеринбурге, а доля дорожной площади — в 4 раза.



Рис. 1. Основные черты мультимодальных пассажирских перевозок

Таблица 1

## Сравнение транспортных систем городов

Показатели	город				
	Екатеринбург	Цюрих	Гонконг	Хьюстон	Прага
Площадь города, км <sup>2</sup>	490	91,88	1104	1552,9	496
Население, тыс. чел.	1462	391	7183	2333	1373
Плотность населения, чел./км <sup>2</sup>	2983,67	4256,3	6506	1502	2768
Виды ГОТ:					
1) трамваи	+	+	+(MTR)	+	+
2) метрополитен	+	+(U-Bahn)	+	—	+
3) автобусы	+	+	—	+	+
4) троллейбусы	+	+	—	—	—
5) пригородные поезда	+	+(S-bahn)	+(KCR)	—	+
6) канатные дороги	—	+	+	—	+
7) водный транспорт	—	+	+	—	+
8) траволатор	—	—	+	—	—
Автомобилизация, шт./1000 жителей	497	562	83	820	764
Количество поездок на общественном транспорте в год на 1 жителя	161	536	799	39	536
Плотность сети дорог, км/км <sup>2</sup>	2,71	8,08	7,50	9,32	8,08
Наличие единого диспетчерского центра управления	—	+	+	—	+

Таблица 2

## Сравнение транспортных систем Праги и Екатеринбурга

Показатели	Екатеринбург	Прага
Площадь города, км <sup>2</sup>	490	496
Население города, млн чел.	1,462	1,373
Количество административных районов	7	10
Автомобилизация, шт./1000 жителей	497	764
Количество поездок на общественном транспорте в год на 1 жителя	161	536
Плотность сети дорог, км/км <sup>2</sup>	2,71	8,08
Отношение площади дорог к общей площади города, %	2,93	11,56
Наличие единого диспетчерского центра управления (амодальные перевозки)	отсутствует	Наличие центра управления ГОТ

Совершенно очевидно, что с такой развитой сетью общественного транспорта горожане активно пользуются его услугами. Из табл. 2 видно, что в среднем житель Праги ежедневно совершает 1,5 поездки на общественном транспорте, тогда как житель Екатеринбурга — всего 0,4 поездки в день; в целом активность жителей Праги при использовании ГОТ в 3,3 раза выше, чем в Екатеринбурге. Но главным отличием городской транспортной системы Праги от Екатеринбурга является наличие единого диспетчерского центра управления городским общественным транспортом и организация так называемых амодальных перевозок (это разновидность мультимодальных перевозок, при которых управление осуществляется из одного диспетчерского центра [12]).

Для организации и управления городским пассажирским транспортом в Праге организован единый диспетчерский центр управления. Он располагается в центре города, в здании, где объединены диспетчерские службы всех видов городского транспорта под единым руководством. Для каждого вида транспорта выделен отдельный этаж. Диспетчеры всех видов транспорта постоянно контролируют ситуацию на улицах города, ведут график движения транспортных средств. В этом же здании располагаются транспортная инспекция и служба технической поддержки, которая отвечает за управление светофорами. Объединение всех видов общественного транспорта под единым руководством позволяет четко управлять транспортным процессом города, оперативно решать нестандартные ситуации.

В настоящее время транспортная система Праги считается одной из лучших в Европе и носит название «Пражский интегрированный транспорт» (ПИТ) [13]. С ее внедрением половина жителей Праги пересела с личных автомобилей на общественный транспорт, притом что на каждого второго жителя города приходится 1 автомобиль. Рассмотрим условия функционирования транспорта Праги, благодаря которым стала возможна такая успешная ситуация (табл. 3).

Качество работы пражского пассажирского транспорта близко к идеалу. Пражская интегрированная транспортная система может являться образцом-аналогом для создания в Екатеринбурге эффективной системы управления общественным транспортом.

Создание системы управления общественным транспортом Екатеринбурга обусловлено необходимостью повышения эффективности управления общественным транспортом и мониторинга его функционирования. Основными задачами этой системы должны стать:

- осуществление мониторинга функционирования общественного транспорта;
- формирование и оптимизация единой маршрутной сети общественного транспорта;
- осуществление диспетчерского управления общественным транспортом;
- автоматизация продажи проездных документов на все виды пассажирского общественного транспорта.

Таблица 3

## Условия эффективной работы ГОТ Праги

Условия функционирования ГОТ Праги	Описание и результат
1. Регулярность и точность движения транспорта	Трамваи, автобусы и поезда метро ходят четко по расписанию. Самым популярным видом транспорта является трамвай. За помеху этому виду транспорта на водителя автомобиля накладывается большой штраф. Если авария все же случилась, полицейские на место аварии с общественным транспортом прибывают почти мгновенно. Опоздание ГОТ на 2 минуты считается недопустимым
2. Информационное обеспечение	Каждый остановочный пункт оборудован информационным табло, и каждый пассажир точно знает, через сколько минут подойдет то или иное транспортное средство
3. Комфорт и внешний вид	В трамвайных вагонах отсутствуют посторонние шумы и вибрации, а также поперечная качка, благодаря совершенной конструкции рельсового пути. Используется подвижной состав повышенной вместимости (сочлененные автобусы и трамваи, двухвагонные поезда), поэтому в салонах отсутствует давка. Интерьеры салонов ГОТ находятся на высоком эстетическом уровне
4. Система оплаты проезда	Разработано много разновидностей билетов, их классификация идет по времени действия. Билеты компостируются в подвижном составе (в метро — при входе на станцию) при помощи специальных устройств, которые печатают на билете время и место гашения, а также служебную информацию



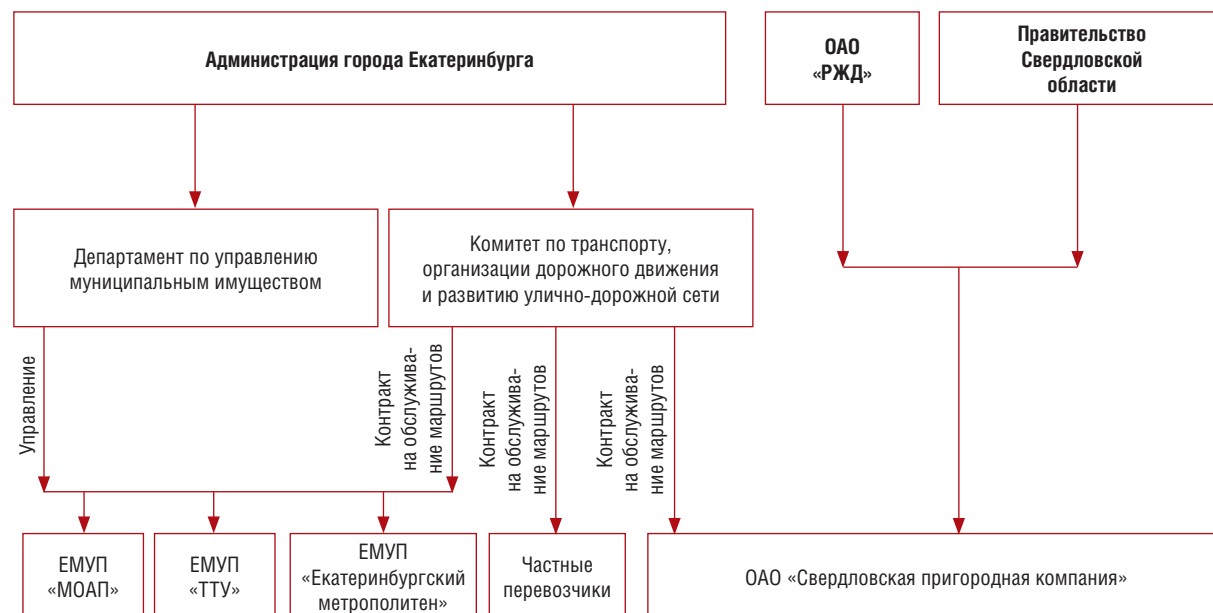


Рис. 2. Существующая схема управления ГОТ в Екатеринбурге

Однако сегодня городской общественный транспорт Екатеринбурга находится в ведении муниципальных властей города. Обслуживание всех городских маршрутов осуществляется на основании муниципальных договоров. Обслуживанием метрополитена, трамвайных и троллейбусных маршрутов занимаются исключительно Екатеринбургские муниципальные унитарные предприятия (ЕМУП) «Екатеринбургский метрополитен» и «Трамвайно-троллейбусное управление», маршруты городской электрички обслуживаются ОАО «Свердловская пригородная компания», учредителями которой являются ОАО «Российские железные дороги» и правительство Свердловской области. Автобусные маршруты обслуживаются ЕМУП «Муниципальное объединение автотранспортных предприятий» и 30 коммерческими предприятиями. Выбор компании-перевозчика на автобусные маршруты осуществляется на конкурсной основе. Схема управления и организации пассажирских перевозок в Екатеринбурге представлена на рис. 2.

Использование опыта Праги позволит улучшить транспортную ситуацию в Екатеринбурге. Для совершенствования управления транспортной системой города предлагается создать единый центр управления городским общественным транспортом [13] (рис. 3).

Новая структура должна сосредоточить в себе управление всеми потоками городского транспорта Екатеринбурга. Новый центр возьмет на себя функции управления пассажирскими перевозками, обслуживания маршрутной сети, оптимизации и перспективного планирования маршрутов, контрольные и диспетчерские функции. Сейчас эту работу выполняют специалисты ЕМУП «МОАП» и ЕМУП «ТТУ», которые после создания центра управления будут совместно работать в новой организации.

ЦУПП позволит улучшить взаимодействие диспетчерского аппарата всех уровней и ведомств, аварийных формирований и подразделений МЧС как в штатном режиме, так и при возникновении нарушений в нормальной работе устройств и оборудования (рис. 4).



Рис. 3. Принципиальная схема управления пассажирскими перевозками на ГОТ



Рис. 4. Предлагаемая схема управления ГОТ города Екатеринбурга

Единый центр управления городским общественным транспортом будет обеспечивать разгрузку пассажиропотоков и в период проведения массовых мероприятий, а также скопления пассажиров, применяя в том числе механизмы управления дорожным движением. Главная его цель — создать удобную систему маршрутов без дублирования и задержек в пути. Промежуточные цели — определить точное число льготни-

ков по всем видам транспорта (для этого планируется ввести единый проездной билет) и избавиться от «теневых» перевозчиков.

Городу и его жителям предстоит пережить непростой, но необходимый этап транспортной трансформации. Екатеринбург и его жители заслуживают цивилизованного общественного транспорта, работающего на принципах логистической интеграции и кооперации. **ИТ**

## Список литературы

1. Федоров В. А. Интеграция отдельных видов транспорта в единую транспортную систему // Наука и техника. — 2014. — № 3. — URL: <http://www.relga.ru/Environ/WebObjects/tgu-www.woa/wa/Main?level1=main&level2=articles&textid=3826>
2. Вукан Р. Вучик. Транспорт в городах, удобных для жизни = Transportation for livable cities. — Территория будущего, 2011. — 576 с.
3. Журавская М. А., Бучельникова Я. А., Парсюрова П. А. Формирование дружелюбного мультимодального пространства современного города // Инновационный транспорт. — 2017. — № 3 (25). — С. 8–14. — ISSN 2311–164X.
4. Козлов П. И., Власов Д. Н. Оценка параметров качества обслуживания пассажиров в транспортно-пересадочных узлах // Вестник МГСУ. — 2017. — № 5 (104). — С. 529–536. — ISSN 1997–0935.
5. Вакуленко С. П., Куренков П. В., Дранченко Ю. Н. Обзор и анализ научных исследований пассажирских перевозок в мегаполисной системе «город — пригород» // Вестник транспорта. — 2016. — № 9. — С. 37–42.
6. Данилина Н. В. Перспективы интермодальной системы транспортного обслуживания // Мир транспорта. — 2016. — № 5 (66). — С. 140–151. — ISSN 1992–3252.
7. Вакуленко С. П., Доенин В. В., Евреенова Н. Ю. Моделирование пассажиропотоков в ТПУ // Мир транспорта. — 2014. — № 4 (53). — С. 124–131. — ISSN 1992–3252.
8. Моделирование работы транспортно-пересадочного узла мегаполиса как трехфазной системы массового обслуживания / М. А. Журавская, А. Л. Казаков, М. Л. Жарков, П. А. Парсюрова // Транспорт Урала. — 2015. — № 3 (46). — С. 17–22. — ISSN 1815–9400.
9. Журавская М. А., Коцан В. В., Парсюрова П. А. К вопросу формирования дружественной транспортной сети на основе анализа остановочных пунктов городских агломераций // Инновационный транспорт. — 2016. — № 2 (20). — С. 15–21. — ISSN 2311–164X. — DOI: 10.20291/2311-164X-2016-2-15-21.
10. Бурнашев А. Л., Трусов А. Ю. Управление городским общественным транспортом на основе автоматизированной системы оплаты проезда и АСДУ (на примере Екатеринбурга). — URL: <http://towntraffic.narod.ru/Russian/2006/IV/bu.htm>
11. Журавская М. А. Бенчмаркинг-технологии в решении транспортных проблем // Инновационный транспорт. — Екатеринбург, 2013. — № 3(9). — С. 48–53. — ISSN 2311–164X.
12. Кузнецова Е. Ю., Журавская М. А. Комбинированные перевозки в условиях транспортной интеграции: проблемы терминологии // Транспорт Урала. — 2005. — № 1. — С. 56.
13. The yearbook of transportation. Prague 2012 // The technical administration of roads of the city of prague. — TSK hl.m.Prahy, 2013. — P. 80.



Марат Фаридович  
Нарбеков

Marat F. Narbekov

## Перспективы организации инфраструктуры альтернативных видов внутреннего пассажирского транспорта столичного региона Азербайджанской Республики

### Prospects of the infrastructure organization for alternative types of domestic passenger transport in the capital region of the Republic of Azerbaijan

#### Аннотация

В статье рассматривается возможность внедрения и развития различных способов мобильности, которые не получили широкого распространения либо не применяются на территории Бакинской агломерации. Такими видами транспорта являются фуникулер, морское и воздушное такси, безрельсовый трамвай, троллейбус, монорельс, поезд на магнитной подушке (маглев). Приводится зарубежный опыт функционирования данных видов транспорта.

**Ключевые слова:** Бакинская агломерация, фуникулер, аэротакси, монорельс, маглев, водное такси, безрельсовый трамвай, троллейбус.

#### Abstract

The article considers the possibility of using and developing various methods of mobility, which are not widely used or are not applied in the territory of the Baku agglomeration. Such modes of transport are funicular, sea and air taxi, trackless tram, trolleybus, monorail, train on the magnetic cushion (maglev). The foreign experience of the functioning of these types of transport is given.

**Keywords:** Baku agglomeration, funicular, air taxi, monorail, maglev, water taxi, trackless tram, trolleybus.

DOI:10.20291/2311-164X-2017-3-21-25

#### Авторы Authors

*Марат Фаридович Нарбеков, аспирант кафедры «Градостроительство и планировка сельских населенных мест» Казанского архитектурно-строительного университета (КАСУ), Казань*

*Marat Faridovich Narbekov, postgraduate student of the Department «Urban and country planning» of the Kazan State University of Architecture and Construction (KSUAC), Kazan*



# Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте

Пассажирская транспортная система столичного региона Азербайджана включает в себя инфраструктуру внешнего (республиканского и международного значения) и внутреннего транспорта (общагломерационного). Инфраструктурные объекты международного сообщения: Бакинский международный морской вокзал, Бакинский международный автовокзал, Бакинский пассажирский ж/д вокзал, Международный аэропорт имени Г. Алиева.

Действующий внутренний пассажирский транспорт: бакинский метрополитен, общегородской автобус, междугородный автобус, циркулирующий между городами и населенными пунктами агломерации, такси. Вышеперечисленные виды транспорта являются популярными способами мобильности. Функционирование прочих видов транспорта (фуникулер, морское такси) происходит в экскурсионном режиме. Инфраструктура таких видов транспорта, как городской трамвай, троллейбус, моно-рельс, маглев, отсутствует (рис. 1).

## Фуникулерный транспорт

Фуникулер (франц. *funiculaire*, от лат. *funiculus* — веревка, канат) — это рельсовое транспортное сооружение для перемещения по крутому подъему (спуску) на относительно короткое расстояние. Основной отличительной особенностью фуникулерного сообщения перед другими транспортными системами является совокупность следующих признаков: наличие направляющих (в частности рельсового пути), канатной тяги и обязательно реверсивного циклического движения [1]. Линии фуникулера могут проходить под землей в тоннеле, на земле либо по эстакаде на вертикальных опорах.

На сегодняшний день в г. Баку функционирует лишь одна фуникулерная система. Однопутная линия протяженностью 455 м соединяет площадь на проспекте Нефтяников (ст. «Бахрам Гур» — азерб. *Bəhram Gur*) с Нагорным парком (ст. «Шехидляр Хиябаны» — азерб.

*Şəhidlər Xiyabanı*) (рис. 2). По линии следует два современных вагона вместимостью 28 человек. Максимальная скорость движения — 2,5 м/с. Бакинский фуникулер был введен в эксплуатацию в мае 1960 г.; реконструкция фуникулерной системы производилась в 2001 и 2007 гг.

Примеры организации фуникулерных линий:

- города России и стран бывшего СССР: Сочи (РФ), Владивосток (РФ), Киев и Одесса (Украина), Тбилиси (Грузия), Баку (Азербайджан), Вильнюс и Каунас (Литва);
- Европа и США: канатный трамвай в Сан-Франциско (США), Bom Jesus do Monte Funicular (Брага, Португалия), Неробергский фуникулер (Висбаден, Германия), Lynton-Lynmouth Cliff Railway (Девон, Великобритания), funiculaire Neuveville – St. Pierre (Фрибур, Швейцария), Metro Alpin (курорт Зас-Фе, Швейцария), фуникулер «Монмартр» (Париж, Франция);
- прочие города мира: Туннель (Стамбул, Турция), Катумба (Австралия), фуникулеры в г. Вальпараисо (Чили), Кармелит (Хайфа, Израиль), Джорджтаун (Малайзия).

В табл. 1 представлены примеры фуникулерных систем с различной характеристикой по типу, дате ввода в эксплуатацию, протяженности, количеству станций, времени движения между конечными станциями.

Фуникулер не получил распространения в городах Бакинской агломерации (БА) в силу объективных причин: низкая провозная способность, неподходящий рельеф местности. В связи с этим система фуникулерного сообщения как элемент городской транспортной системы выступает также в качестве объекта туристической инфраструктуры. Фуникулерные линии целесообразно размещать в рекреационных зонах, располагающихся в горной либо холмистой местности, в целях обеспечения транспортного сообщения между труднодоступными участками города (например: связь разноразноуровневых террас рекреаций, связь жилого и паркового массивов друг с другом).



Рис. 1. Классификация видов пассажирского транспорта Бакинской агломерации



Рис. 2. Экстерьер и интерьер павильона фуникулерной станции «Шехидляр Хиябаны» после реконструкции<sup>1</sup>

Таблица 1

### Характеристика фуникулерных систем городов мира

Город	Характеристика	Дата ввода в эксплуатацию	Протяженность сети, м	Количество станций	Время движения между конечными станциями, мин.	Тип
г. Баку (Азербайджан)		1960 г.	455	2	4	наземный
г. Хайфа (Израиль)		1959 г.	2000	6	7	подземный
г. Стамбул (Турция)		1875 г.	573	2	5	подземный
г. Владивосток (Россия)		1962 г.	183	2	1,5	наземный
г. Тбилиси (Грузия)		1905 г.	501	3	5	наземный
курорт Зас-Фе (Швейцария)		1984 г.	1749	2	3,2	подземный

Для организации линий фуникулерного сообщения следует учитывать факторы окупаемости, безопасности эксплуатации, транспортной доступности, обеспечения необходимого объема пассажиропотока.

### Морское такси

В качестве транспортных средств общеагломерационного морского сообщения могут выступать пассажирские катера различного водоизмещения, экранопланы, суда на воздушной подушке или подводных крыльях [2, 3]. Примеры городов с организацией водного пассажирского транспорта:

- США и Канада: Бостон, Балтимор, Округ Кинг, Нью-Йорк, Чикаго, Торонто;
- европейские города: Итака (Греция), Венеция (Италия);
- прочие города мира: Дубай (ОАЕ), Токио (Япония), Владивосток (Россия), Стамбул (Турция).

В столичном регионе Азербайджана рассматривается внедрение морского такси. Планируется организация морского сообщения между Площадью Государственного флага (западный берег Бакинской бухты) и поселком Ахмедлы (восточный берег); а также Приморским бульваром и островом Наргин.

### Аэротакси

Обычно в качестве транспортного средства (ТС) данного способа мобильности выступает вертолет; в силу своей дороговизны вертолетное сообщение используется в основном для бизнес-перевозок. Данный вид воздушного транспорта функционирует в крупных городах, мегаполисах и агломерациях мира (например: Сан-Пауло, Нью-Йорк, Токио, Лондон, Рио-де-Жанейро). Согласно данным ГИС, на территории БА насчитывается около пяти вертолетных площадок и станций гражданской авиации; основной вертолетный аэродром расположен близ

<sup>1</sup>Рисунки с сайтов <http://www.tlorenz.at/ru/Utility/ImagePopup/4186>, [https://img-fotki.yandex.ru/get/28982/65714111.6/0\\_1c7152\\_2fc25cd4\\_orig](https://img-fotki.yandex.ru/get/28982/65714111.6/0_1c7152_2fc25cd4_orig).

пос. Забрат на Апшеронском полуострове в 16 км от центра г. Баку (ж/д вокзал). На данном этапе развития транспортной системы БА широкое применение аэротакси в повестке дня не значит.

## Безрельсовый трамвай

Этот вид городского общественного транспорта по габаритам, дизайну, а также показателям провозной способности и скорости идентичен рельсовому уличному транспорту, однако в отличие от городского трамвая движение безрельсового аналога организовано по автодороге с нанесением специальной разметки в целях удержания состава на маршруте следования. В 2018 г. в г. Чжучжоу (Китай) планируется ввод в эксплуатацию безрельсового трамвая, работающего на литий-титановых батареях без использования контактной сети (рис. 3). Запас хода трамвая составляет около 40 км при максимальной скорости 70 км/ч [4].

Отсутствие трамвайной инфраструктуры в городах БА, экологичность и высокие показатели провозной способности по отношению к автобусному транспорту, экономичность инфраструктурного развития по сравнению с городским рельсовым транспортом (метро, ЛРТ) актуализирует внедрение безрельсового трамвая в систему общественного транспорта БА.

## Троллейбус

Троллейбус — это безрельсовый вид транспорта, получающий электроэнергию через контактную сеть, ввешенную вдоль уличной магистрали, по этой причине троллейбус является неавтономным видом транспорта. Несмотря на низкую себестоимость перевозок (при условии высокого объема пассажиро-перевозок) и экологичность трол-



Рис. 3. Безрельсовый трамвай<sup>2</sup>

лейбус обладает рядом недостатков: в условиях повышенной автомобилизации — низкая маневренность, недостаточная синхронизация с автомобильным потоком вследствие различия разгонно-тормозных характеристик электрифицированных и моторизованных ТС, неэстетичность контактной сети [5, 6].

Первый троллейбусный маршрут в г. Баку был организован в декабре 1941 г. В конце 70-х гг. прошлого века происходит интенсивное развитие троллейбусной системы БА. В 80-е гг. троллейбусные линии были организованы в периферийных поселках и пригородах (8-й километр, пос. Ахмедлы, пос. Разина, пос. Зых, пос. Шихово, район Аэропорта Бина). В 1990 г. троллейбусная сеть состояла из 32 маршрутов, в городе функционировали три троллейбусных парка. С 1993 г. наблюдается сокращение маршрутов, к 2000 г. насчитывалось только четыре троллейбусных маршрута. Переход к рыночной экономике в 90-х годах XX века и увеличивающаяся автомобилизация не позволили троллейбусному транспорту выйти на рентабельный уровень, в связи с этим было принято решение о закрытии бакинской троллейбусной сети — последний действующий маршрут прекратил существование в июле 2006 г. Троллейбусная линия в г. Сумгаите

была открыта в апреле 1961 г. Сеть состояла из 8 маршрутов. В январе 2006 г. троллейбусное движение было остановлено, а контактные линии впоследствии демонтированы.

На сегодняшний день троллейбусные системы функционируют во многих городах мира, таких как Бостон, Сан-Франциско (США); Афины (Греция); Лион, Лимож (Франция); Болонья (Италия); Лозанна (Швейцария); Казань, Москва, Курск (Россия); Минск (Белоруссия); Шанхай, Циндао (Китай); Кито (Эквадор); Сан-Паулу (Бразилия) и т.д.

Принимая во внимание все недостатки троллейбусного сообщения, а также потенциал развития современных высокотехнологичных экологически рациональных видов транспорта (электробус, трамвай без внешнего электропитания [7, 8]), можно признать, что идея восстановления троллейбусных линий в городах БА является бесперспективной.

## Монорельс, поезд на магнитной подушке (маглев)

Монорельсовый транспорт — вид скоростного внеуличного общественного транспорта. Электроподвижной состав монорельсовой дороги

<sup>2</sup>Рисунок с сайта <http://cdn.wonderfulengineering.com/wp-content/uploads/2017/06/china-train-tram-bus-768x384.jpg>.



движется вдоль ходовой балки (монорельса) над поверхностью земли; расположение монорельса на опорах способствует более рациональному использованию городских территорий [9]. Возможен опорный либо подвесной вариант организации эстакадного монорельсового движения [10].

Преимущества монорельсового транспорта перед прочими видами наземного рельсового транспорта заключаются в том, что он не занимает городское пространство, преодолевает более крутые склоны. Однако несмотря на заявленные преимущества московская монорельсовая система оказалась неконкурентоспособной перед традиционными видами рельсового транспорта по таким показателям, как стоимость строительства, фактическая скорость движения составов, провозная способность, техобслуживание в зимний период [5, 11].

Примеры организации монорельса в городах мира:

- США: Лас-Вегас, Сизтл, Мем-

фис, Нью-Йорк;

- Азиатско-Тихоокеанский регион: Токио (Япония), Окинава (Япония), Осака (Япония), Куала-Лумпур (Малайзия), Шанхай, Чунцин (Китай), Сидней (Австралия);
- Германия: Вупперталь, Дрезден, Дортмунд, Дюссельдорф;
- прочие города мира: Дубай (ОАЕ), Москва (Россия), Мумбай (Индия).

Маглев (поезд на магнитной подушке, магнитоплан) — уникальный вид сверхскоростного (до 600 км/ч) внеуличного пассажирского транспорта. Движение поезда основано на явлении магнитной левитации. Вдоль состава и направляющего монорельса установлены электромагниты. Движение маглева происходит под действием силы магнитного поля — состав как бы парит над поверхностью эстакады, при этом исключается потеря энергии на гашение силы трения [12].

По таким параметрам, как безо-

пасность (возможность схода с рельсов), маршрутная скорость движения, влияние климатических условий (снег, обледенение) на движение поездов, уровень шума, уровень вибрации, выделение пыли при движении и торможении, маглев превосходит прочие виды рельсового транспорта (метро, ЛРТ) [13]. Однако развитие данных систем в мире идет малыми темпами по причине высокой стоимости и долгосрочной окупаемости.

Поезд на магнитной подушке функционирует в г. Инчхон (Южная Корея); Шанхай, Чанша (Китай); префектура Айти (Япония).

Учитывая достоинства магнитоплана, следует предположить, что с развитием технологий, приводящих к снижению инфраструктурной стоимости, маглев может быть востребован в качестве высокоскоростного и комфортного вида транспорта не только для агломераций, но также в межрегиональном и международном сообщении. **ИТ**

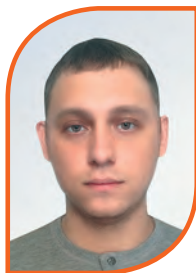
## Список литературы

1. Тихонова Т. Ю. Биография фуникулера: факты и адреса // Мир транспорта. — 2010. — Т. 8, № 02 (30). — С. 184–190. — ISSN 1992–3252.
2. Кузьмичев И. К., Малышкин А. Г. Суда на воздушной подушке — путь решения проблемы пассажирских перевозок в регионах с ограниченно развитой сетью наземного транспорта // Транспорт Урала. — № 2 (45). — 2015. — С. 38–41. — ISSN 1815–9400.
3. Любимов В. И., Вараков Ю. Г., Барышев В. И. Современные концепции и перспективные сферы использования транспортных экранопланов // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. — 2012. — № 31. — С. 64–67. — ISSN 1991–8275.
4. First railless train unveiled in CRRC Zhuzhou [Электронный ресурс] // CRRC: сайт компании. — URL: <http://www.crrcgc.cc/en/tabid/7389/sourceid/10408/infoid/286142/Default.aspx> (дата обращения: 05.09.2017).
5. Колин А. В. Расчет пропускной и провозной способности транспортных магистралей мегаполисов при эксплуатации различных видов городского пассажирского транспорта. — М.: МИИТ, 2010. — 133 с.
6. Гузенко А. В. Альтернативные виды транспорта как основа развития логистики городской пассажирской системы // Вестник Ростовского государственного экономического университета. — 2016. — № 3 (55). — С. 44–48. — ISSN 1991–0533.
7. Орлов В. А. Трамваи и троллейбусы без внешнего питания // Мир транспорта. — 2013. — Т. 11, № 04 (48). — С. 52–57. — ISSN 1992–3252.
8. Габарда Д. Новые транспортные системы в городском общественном транспорте. — М.: Транспорт, 1990. — 216 с.
9. Вершинина Н. В., Трапезников М. Б. Внедрение монорельса в транспортно-логистическую структуру региона // Транспорт Урала. — 2014. — № 1 (40). — С. 3–7. — ISSN 1815–9400.
10. Веневцев Е. О. Применение монорельсовых транспортных систем на территории Московской агломерации // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2016): материалы Девятой международной конференции: в 2 т. / под общей редакцией С. Н. Васильева, А. Д. Цвиркуна. — М., 2016. — С. 66–69.
11. Лагерева Р. Ю., Немчинова Е. С., Немчинова О. С. О возможности эксплуатации монорельсовых дорог в Российской Федерации // Вестник ИРГТУ. — 2013. — № 11 (82). — С. 205–211. — ISSN 1814–3520.
12. Кравченко Л. А., Шкарупа С. С., Деменкова М. С. Маглев — дань хай-тек индустрии или экономически выгодные проекты // Наука XXI века (Санкт-Петербург, 12 апреля. 2017): сб. науч. статей по итогам Международной научно-практической конференции. — СПб.: Культ-информ пресс, 2016. — С. 154–156.
13. Фёдорова М. В. Скоростной городской транспорт для современной агломерации [Электронный ресурс] // Транспортные системы и технологии: сетевой многопредметный научный журнал. — 2015. — № 1 (1). — С. 26–36. — URL: <http://www.transssyst.ru/razdel-1-3-fedorova.html> (дата обращения: 10.09.2017).



**Ольга  
Юрьевна  
Смирнова**

**Olga Y. Smirnova**



**Кирилл  
Константинович  
Стоян**

**Kirill K. Stoyan**



**Ксения  
Евгеньевна  
Герасимчук**

**Ksenia E. Gerasimchuk**



**Айгюль  
Ильдусовна  
Калиева**

**Aygul I. Kalieva**

## Региональное пассажирское сообщение: состояние и тенденции развития

### Regional passenger traffic: state and development trends

#### Аннотация

В статье проанализированы отраслевые особенности организации пассажирских перевозок и научные подходы к исследованию пассажирского сообщения между городами по территории РФ. На железнодорожном и автомобильном транспорте в зависимости от протяженности маршрута существует разная технология организации перевозок, что предопределяет направленность научных исследований. В статье предложен комплексный подход, суть которого заключается в исследовании ретроспективных данных на всех видах транспорта и сообщениях по выявленным полигонам пассажирского сообщения в регионе при условии определения района тяготения населения к магистральным видам транспорта с целью дальнейшей диагностики в зависимости от заявленных приоритетов.

**Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, местное пассажирское сообщение, пригородное сообщение, межрегиональные автобусные маршруты, районы тяготения.

#### Abstract

The article analyzes the branch peculiarities of the organization of passenger transportation and scientific approaches to the study of passenger traffic between cities on the territory of the Russian Federation. There is a different technology for organizing transportation on railway and road transport depending on the length of the route this predetermines the direction of scientific research. The article proposes a comprehensive approach, the essence of which is to study retrospective data on all types of transport and communications for the identified ranges of passenger traffic in the region, provided the region's gravity of the population is identified for main types of transport with a view to further diagnosis, depending on the declared priorities.

**Keywords:** railway transport, local passenger traffic, suburban communication, interregional bus routes, regions of gravitation.

DOI:10.20291/2311-164X-2017-3-26-31

#### Авторы Authors

**Ольга Юрьевна Смирнова**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» Тюменского индустриального университета, Россия; e-mail: os@edintrans.ru | **Кирилл Константинович Стоян**, канд. техн. наук, инженер 1-й категории отдела комплектации строительства ООО «ЯРГЕО», ПАО «НОВАТЭК», Россия; e-mail: sto-kk@mail.ru | **Ксения Евгеньевна Герасимчук**, старший преподаватель кафедры «Станции, узлы и грузовая работа» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург; e-mail: KChemodanova@usurt.ru | **Айгюль Ильдусовна Калиева**, студент 1 курса магистратуры «Логистический аудит транспортных процессов и систем», кафедра «Эксплуатация автомобильного транспорта» Тюменского индустриального университета, Россия. E-mail: kalieva.a2012@yandex.ru

**Olga Yurevna Smirnova**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the "Operation of Automobile Transport", Tyumen Industrial University, Russia; e-mail: os@edintrans.ru | **Kirill Konstantinovich Stoyan**, Candidate of Technical Sciences, engineer of the 1st category of the construction completion department of LLC "YARGEO", PJSC "NOVATEK", Russia; e-mail: sto-kk@mail.ru | **Ksenia Evgenyevna Gerasimchuk**, Senior Lecturer of the Department "Stations, Junctions and Cargo Work" of the Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg; e-mail: KChemodanova@usurt.ru | **Aygul Ildusovna Kalieva**, Master's degree student Logistics audit of transport processes and systems, first year of study, Department of Operation of road transport Tyumen Industrial University, Russia; e-mail: kalieva.a2012@yandex.ru

## Актуальность работы

Пассажирские перевозки выполняются железнодорожным, автомобильным, воздушным, морским и речным видами транспорта. Сфера применения и оптимальный радиус использования различных транспортных средств определяются большим количеством факторов: географическими особенностями территории, исторически сложившейся схемой перевозок, особенностями государственного регулирования, конкурентоспособностью перевозчиков и другими. Несмотря на особый социальный аспект, присущий пассажирским перевозкам, в условиях рынка на первое место выступает экономический фактор. Кроме того, в современных условиях возникает необходимость учета экологического аспекта, а также обеспечения транспортной безопасности. Случаи реконструкции пассажирского сообщения на региональном уровне практически отсутствуют. Осуществляется только перетекание пассажиропотока с одного вида транспорта на другой, с общественного на личный и обратно, в зависимости от текущих приоритетов населения и уровня качества обслуживания. Для поиска оптимальных схем транспортного обслуживания населения необходимо проанализировать существующие технологии региональных пассажирских перевозок и научные исследования в этой области.

Перемещение населения в рамках региона можно условно разделить на два способа: с использованием индивидуального (личного) и общественного транспорта. Общемировая тенденция, обусловленная ограничением пропускной способности и отрицательным воздействием транспортных средств на экологию окружающей среды, направлена на стимулирование населения к отказу от использования личного автотранспорта в пользу общественного, прежде всего рельсового, транспорта [1]. В региональном пассажирском сообщении конкуренцию друг другу в большей степени составляют железнодорожный и автомобильный транспорт и в меньшей степени — морской (речной) и воздушный.

В пассажирской железнодорожной статистике выделяют два вида сообщения — прямое и местное. К прямому относят объемы перевозок, осуществляемые в пределах двух и более железных дорог. Местное сообщение объединяет пассажиропотоки в рамках одной железной дороги, подавляющую часть которых осуществляет ОАО «ФПК», структурное подразделение ОАО «РЖД», на условиях монополии. Наличие у пассажира именного билета, возможность в ходе поездки провести опрос пассажиров и потенциал программного комплекса ОАО «РЖД» АСУ «Экспресс» обеспечивают выполнение детального анализа объемов перевозок по регионам, маршрутам следования, категориям поездов, типам вагонов, позволяют оценить уровень востребованности транспортных услуг

по ценовому критерию. Оперативное регулирование схем составов в зависимости от фактического спроса пассажиров и динамики его изменения в данных видах сообщения возможно за счет создания прогнозных моделей пассажиропотоков (трендовых и многофакторных) на отдельно рассматриваемых маршрутах. В работах [2, 3, 4] определены наиболее существенные факторы, влияющие на пассажирооборот в поездах дальнего следования, ключевые показатели, разработана методология исследования пассажирских транспортных потоков на сетевом и региональном уровне управления перевозками.

Однако на большинстве железнодорожных направлений пассажир может воспользоваться услугами пригородного пассажирского сообщения, где тариф существенно ниже. Пассажир покупает обезличенный билет с возможностью использования на нескольких электропоездах. Пригородный билет для разовой поездки в обратном направлении действителен в течение одних суток, не считая дня продажи, общевыходных и праздничных дней. Дополнительно существует система проездных месячных абонементов с глубиной продаж в некоторых регионах до шести месяцев, поэтому работа со статистическим массивом пригородных пассажирских компаний весьма затруднена и не позволяет выполнить детализацию по дням недели, как в прямом и местном сообщении [5].

На территории РФ в структуре ОАО «РЖД» действует 15 пригородных компаний, ОАО «Свердловская пригородная компания» занимается организацией перевозок пригородным железнодорожным транспортом на территории Свердловской, Тюменской, Челябинской, Оренбургской, Курганской областей и Ханты-Мансийского автономного округа — Югры на основании договоров с каждым регионом (несколько заказчиков — один перевозчик).

Расстояние пригородного сообщения на железнодорожном транспорте ограничено 200 км, но на практике пригородные пассажирские компании для обслуживания устойчивых пассажиропотоков вынуждены организовывать стыковку в расписании двух поездов. Так, пассажир, желающий уехать из Тюмени в Ишим, может уехать на поезде 7342 пригородного сообщения Тюмень — Вагай, а через 12 минут из Вагая в Ишим на поезде 7344 и обратно тоже в таком порядке [6]. Такие пересадки на профессиональном сленге называются «перелом». В зоне действия ОАО «Свердловская пригородная компания» существует 9 переломов (табл. 1).

Решить такую проблему на практике предлагается путем установки инфракрасных датчиков, осуществляющих учет пассажиров в пригородном сообщении [7]. А профессиональное сообщество выступает за снятие ограничения в дальности пригородного сообщения на усмотрение региональных органов [8].



Таблица 1

### Перечень маршрутов протяженностью более 200 км

№ п/п	Маршруты	Протяженность первого и второго участка, км	Общая протяженность, км
1	Серов — Нижняя Тура — Нижний Тагил	107+135	242
2	Нижний Тагил — Нижняя Тура — Выя — Серов	107+13+148	268
3	Тобольск — Усть-Тавда — Тюмень	90+139	229
4	Кузино — Унь — Чусовская	90+138	228
5	Пермь — Кордон — Шаля	171+64	235
6	Тюмень — Вагай — Ишим	144+145	289
7	Сургут — Лангепасовский — Нижневартовск	123+93	216
8	Челябинск — Шумиха — Курган	126+133	259
9	Челябинск — Златоуст — Кропачево	160+160	320

На автомобильном транспорте также существует разделение на пригородное сообщение (до 50 км между границами населенных пунктов), междугородное в пределах территории субъекта РФ и межрегиональное. Процедуры допуска перевозчиков осуществляются на разных уровнях исполнительной власти: муниципальном, региональном, федеральном. Схема «несколько заказчиков — несколько перевозчиков» дополнительно осложняется возможностью субподряда, который на федеральном уровне закреплён в законодательных актах. На межрегиональном сообщении процедура конкурса отсутствует, допуск перевозчику оформляет Министерство транспорта РФ сроком на 5 лет. Автобусное сообщение организовано через сеть автовокзалных комплексов, большая часть которых находится в пешей доступности от центра города и железнодорожного вокзала, но у пассажира имеется возможность выйти на остановках по маршруту. Возможность гибкого маневрирования расписания иногда осложняется наличием дорожных пробок на подъезде к городу, особенно к мегаполисам. На автомобильном транспорте унифицированы формы именных билетов в межрегиональном сообщении, что позволяет анализировать статистические данные по пассажиропотоку (льготным поездкам, неравномерности). Для ведения данного учета применяется ряд программных комплексов. Также в перспективе разработка общего программного контура (в частности, на базе сетевого контента «e-traffic», в который на данный момент входят Курганский, Тюменский (юг области), Свердловский комплексы), позволяющего помимо ведения учета пассажиропотока применять оперативное регулирование продажи билетов на межрегиональные маршруты. В пригородном и внутрирегиональ-

ном сообщении информация о пассажире не ведется, в отличие от межрегионального, где данные передаются в единую государственную информационную систему обеспечения транспортной безопасности.

Существующее ограничение до 50 км приводит к необходимости переводить по сути пригородные маршруты, но с протяженностью 55–70 км в разряд междугородных, что создает свои проблемы при организации перевозок. Согласно Постановлению Правительства РФ № 239 от 07.03.1995 г. «О мерах по упорядочению государственного регулирования цен (тарифов)», регионально закреплёны тарифы на услуги перевозки пассажиров автомобильным транспортом в разрезе маршрутов, при этом усредненная разница тарифов между междугородным (общего типа) и пригородным сообщением составляет 20–25 % для пассажира.

Организационные издержки, ориентированные на перевозчика в рамках имеющегося порядка и необходимости перевода маршрутов пригородного сообщения в междугородный, связаны с тем, что, во-первых, междугородный автобус (общего типа) обладает значительно меньшей пассажироместимостью, во-вторых, автобусы пригородного исполнения не оборудуются тахографами в отличие от междугородных, в-третьих, конкурсные процедуры и/или процедуры допуска проводят разные органы власти (муниципальный, субъект Федерации, уровень Министерства транспорта РФ). Научные разработки по исследованию пассажирского сообщения между городами на автомобильном транспорте практически отсутствуют.

Таким образом, пассажир, желающий уехать из Ялуторовска в Тюмень, может воспользоваться и железнодорожным транспортом (электropоезд и поезд дальнего

следования), и автомобильным — как на межрегиональном маршруте, так и на внутриобластном. Технология организации перевозок, уровень и подходы государственного регулирования различны, присутствуют элементы централизации и децентрализации.

Авторы предлагают комплексный подход в исследовании регионального пассажирского сообщения на всех видах транспорта. На этапе предпроектного анализа в субъекте РФ необходимо определить основные направления (полигоны) фактического пассажирского сообщения на магистральных видах транспорта, что было выполнено на территории обслуживания ОАО «СПК» в работе [9]. Выявление полигона (перечня конкретных населенных пунктов) позволит не только установить район тяготения, но и проанализировать потенциальные пассажиропотоки, зная численность и структуру населения. Так, на железнодорожном транспорте в зоне действия ОАО «СПК» на территории Курганской об-

ласти было выявлено 4 направления. Сравнение с существующим реестром пригородного сообщения в Комплексном плане транспортного обслуживания населения Курганской области на средне- и долгосрочную перспективу до 2030 года в части пригородных пассажирских перевозок представлено в табл. 2. Если анализировать направления (основные полигоны) пассажирского сообщения на автомобильном транспорте, то к тем, что выявлены на железнодорожном транспорте, добавляются направления Курган — Глядянское — Звериноголовское, Курган — Куртамыш — Целинное, Шумиха — Альменев — Целинное, Курган — Половинное, где есть только автодорожное сообщение и отсутствует железнодорожное. Реестры пригородного сообщения, составленные в субъектах РФ и утвержденные комплексными планами, содержат один существенный недостаток: они сформированы до географической границы субъекта, что приводит к усеченному варианту исследования.

Таблица 2

### Выявленные направления пригородного сообщения на территории Курганской области

	Номер поезда	Маршрут следования	Протяженность участка по расписанию, км	Соответствующее направление по КПО Курганской области	Протяженность участка по КПО, км
1		<b>направление Курган — Шадринск</b>	<b>147</b>	<b>направление Курган — Шадринск</b>	<b>147</b>
	6382, 6384, 6386	Курган — Шадринск		Курган, Иковка, Кособродск, Каргаполье, Шадринск	
2		<b>направление Шадринск — Каменск-Уральский</b>	<b>115</b>	<b>направление Шадринск — Катайск (на Каменск-Уральский)</b>	<b>96</b>
	6355–6352, 6353–6354	Шадринск — Каменск-Уральский		Шадринск, Далматово, Катайск	
3		<b>направление Курган — Шумиха</b>	<b>134</b>	<b>направление Курган — Шумиха</b>	<b>134</b>
	6331, 6332, 6333, 6336, 6338	Курган — Шумиха		Курган, Введенское, Юргамыш, Мишкино, Шумиха	
4		<b>направление Шумиха — Челябинск</b>	<b>125</b>	<b>направление Шумиха — Каясан (на Челябинск)</b>	<b>81</b>
	6205, 6206, 6212, 6213, 6214, 6218, 6201	Шумиха — Челябинск		Шумиха, Щучье, Каясан (пограничная станция Курганской и Челябинской областей)	
	6215	Каясан — Челябинск			
5		<b>направление Курган — Макушино</b>	<b>130</b>	<b>направление Курган — Макушино</b>	<b>130</b>
	6301, 6302, 6303, 6306, 6307, 6308	Курган — Макушино		Курган, Варгаши, Лебяжье-Сибирское, Макушино	
6		<b>направление Макушино — Петропавловск</b>	<b>136</b>	<b>направление Макушино — Горбуново (на Петропавловск)</b>	<b>113</b>
	6411, 6412, 6415, 6416	Макушино — Петропавловск		Макушино, Петухово, Горбуново (граница с Казахстаном)	

На втором этапе необходимо обозначить районы тяготения населения к магистральным видам транспорта, что позволит определить численность, структуру и особенности потребности в передвижении населения, которое проживает в районах тяготения. В исследовании городских перевозок подобные процедуры носят название «транспортного районирования». Так, на направлении Тюмень — Ишим район тяготения пассажиров к железнодорожному сообщению представлен перечнем населенных пунктов, фрагмент которого показан в табл. 3. Анализ ретроспективных данных по двум видам транспорта с учетом пригородного и местного сообщения по направлению Тюмень — Тобольск показал, что основной поток пассажиров отправляется от начального пункта до конечного. На транзитных пунктах, как на железнодорожном транспорте, так и на автомобильном, доля пассажиров ничтожно мала [10]. Из общего количества пассажиров, несмотря на неудобство расположения железнодорожного вокзала в городе Тобольске (находится за чертой концентрации проживания населения при отсутствии сообщения с центром города на общественном транспорте), половина пользуется услугами пригородного сообщения Тюмень — Усть-Тавда — Тобольск по экономическим соображениям.

Третий этап представляет собой анализ существующей схемы пассажирского сообщения на выявленном полигоне с целью ее диагностики на предмет исключения дублирующих маршрутов, возможности перевода пассажиропотока на более экологичный и безопасный

вид транспорта из имеющихся. После этого необходимо разработать несколько схем обслуживания пассажиропотоков, используя возможности стыковки различных видов транспорта и/или мультимодальные технологии [11].

## Выводы

Проанализированы отраслевые подходы в исследовании пассажирского сообщения между городами по территории РФ. На железнодорожном транспорте хорошо исследованы пассажиропотоки в местном и дальнем сообщении, по ретроспективным данным описана неравномерность, доказана зависимость размера пассажиропотока от макроэкономических факторов в пределах одной железной дороги и/или в целом по территории РФ. В пригородном сообщении действующие реестры находятся у каждого субъекта в усеченном виде и межрегиональный аспект не рассматривается. Процедура заказа от субъекта на пригородные перевозки пассажиров к пригородным компаниям детально не проработана, например, невозможна регулировка составности (количества вагонов) поезда в пиковые периоды спроса. На автомобильном транспорте возможна корректировка маршрутной сети по запросу населения, но процедуры допуска перевозчика на пригородные, внутриобластные и межрегиональные сообщения осуществляют разные органы исполнительной власти.

Таблица 3

### Определение географических районов и населенных пунктов тяготения к остановкам пригородного сообщения на железнодорожном транспорте по направлению Тюмень — Ишим

Наименование остановки	Км отметка	Расстояние	Код	Городской округ/ район	Населенные пункты, по которым проходит железная дорога	Населенные пункты на расстоянии 25 км от ж/д станции
ст. Озеро Андреевское	2157	17	2030259	Тюменский район	пгт Боровский	СНТ «Целинное» (4 км), СНТ «Рассвет» (3 км), СНТ «Лесовик» (3 км), СНТ «Боровик» (3 км), СНТ «Промстровец» (3 км)
ст. Винзили	2166	26	2030261	Тюменский район	пгт Винзили	с. Богандинское (11 км), д. Пышминка (15 км), д. Мельница (7 км), д. Кыштырла (8 км), Муллаши (23 км), д. Железный Перебор (17 км)
О. п. 2169 км	2170	30	2030261	Тюменский район		700 м — садовые участки «Вишенка», «Кыштырлинка», «Ольховое»
Богандинская	2177	37	2030262	Тюменский район	пгт Богандинский	с. Княжево (12 км), д. Головина (20 км)
О. п. 2181 км	2183	43	2031282	Тюменский район		300 м — СНТ «Дружба», д. Марай (5 км), с. Аманадское (7 км) по автодороге



В статье предложен комплексный подход, суть которого заключается в исследовании ретроспективных данных на всех видах транспорта и сообщения по выявленным полигонам пассажирского сообщения в регионе при условии определения района тяготения населения к магистральным видам транспорта

с целью дальнейшей диагностики в зависимости от заявленных приоритетов. Данный подход был разработан в проекте «Right of way in suburban traffic», представлен на молодежный конкурс «Новое звено — 2017» ОАО «РЖД», где вошел в число 60 финалистов по России. **ИТ**

## Список литературы

1. Блинкин М. Я., Крупенский Н. А. Общественный транспорт должен стать приоритетом. Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». Научно-образовательный портал IQ. [Электронный ресурс]. — URL: <https://iq.hse.ru/news/177667016.html> (дата обращения: 18.09.2017).
2. Макарова Е. А., Муктепавел С. В. Аналитические исследования пассажирских транспортных потоков в местном железнодорожном сообщении // Вестник университета / Государственный университет управления. — 2015. — № 1. — С. 33–40. — ISSN 1816–4277.
3. Макарова Е. А., Суржин К. В., Елизаров С. Б., Пиунов А. Г., Соколовский А. В. Методология исследований пассажирских транспортных потоков на сетевом и региональных уровнях управления перевозками // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. — 2015. — № 6. — С. 57–62. — ISSN 2223–9731.
4. Макарова Е. А., Суржин К. В., Елизаров С. Б., Морозов С. С. Оценка научных результатов по прогнозированию региональных пассажирских транспортных потоков // Бюллетень объединенного ученого совета ОАО «РЖД». — 2017. — № 1. — С. 23–35. — ISSN 2304–9642.
5. Шнейдер М. А., Проскурякова Е. А. Рынок пригородных железнодорожных перевозок: управление и экономика : монография. — СПб. : ООО Типография НП Принт, 2012. — 288 с. — ISBN 978-5-905942-17-4.
6. Служебное расписание движения пригородных поездов по Свердловской железной дороге 2014/2015. — Екатеринбург : Трансиздат, 2014. — 319 с.
7. Поезд идет до апреля // Российская газета — Экономика УрФО № 6605 [Электронный ресурс]. — URL: <https://rg.ru/2015/02/19/reg-urfo/electrichki.html> (дата обращения: 18.08.2017).
8. Вакуленко С. П., Колин А. В. О критериях определения категорий пригородных поездов // Мир транспорта. — 2012. — Т. 10, № 6 (44). — С. 16–21. — ISSN 1992–3252.
9. Смирнова О. Ю., Полякова Т. Ю. Анализ направлений пригородного сообщения в зоне действия ОАО «Свердловская пригородная компания» // Инновационный транспорт — 2016: специализация железных дорог : м-лы Международ. науч.-практ. конф. — Екатеринбург : УрГУПС, 2017. — Вып. 8 (227). — С. 1084–1098.
10. Смирнова О. Ю., Третьякова Е. А. Анализ схемы пассажирского сообщения Тюмень — Тобольск // Материалы II Международной научно-практической конференции «Транспортное планирование и моделирование», 25 и 26 мая 2017 г., Санкт-Петербург. — СПб., 2017. — С. 114–118.
11. Журавская М. А., Смородинцева Е. Е., Морозова О. Ю., Уткина Г. В. Организация и развитие мультимодальных пассажирских перевозок — важная часть экологической стратегии ОАО «РЖД» // Инновационный транспорт. — 2015. — № 3 (17) — С. 18–22. — ISSN 2311–164X.



**Николай  
Андреевич  
Тушин**  
**Nikolai A.  
Tushin**



**Кирилл  
Максимович  
Тимухин**  
**Kirill M.  
Timukhin**



**Римма  
Видадиевна  
Писарева**  
**Rimma V.  
Pisareva**

## Физический интернет и математическое моделирование

### Physical Internet and mathematical modeling

#### Аннотация

В последние годы в среде экспертов-логистов набирает популярность перспективная логистическая концепция «Физический интернет». Ее внедрение может привести к увеличению загрузки транспортных средств, уменьшению холостых рейсов, сокращению сроков доставки, снижению запасов и цены товаров. Концепция предусматривает облачные решения для непрерывного планирования на основе оптимизационных математических моделей. В статье приводится анализ накопленного в нашей стране опыта применения различных математических методов и моделей. Для решения логистических задач предлагается перейти к разработке диалоговой человеко-машинной системы на основе объединения моделей разного класса.

**Ключевые слова:** логистическая концепция, физический интернет, математические модели.

#### Abstract

In recent years, a promising logistic concept “Physical Internet” is gaining popularity among the expert logisticians. Its implementation can lead to an increase in the loading of vehicles, reduction of idle trips, shorter delivery times, lower inventories and price of goods. The concept provides for cloud solutions for continuous planning based on optimization mathematical models. The article analyzes the experience of applying various mathematical methods and models in our country. To solve the logistical problems, it is proposed to proceed with the development of an interactive human-machine system based on combining models of different classes.

**Keywords:** logistic concept, physical internet, mathematical models.

DOI:10.20291/2311-164X-2017-3-32-35

#### Авторы Authors

**Николай Андреевич Тушин**, д-р техн. наук, действительный член РАТ, профессор кафедры «Управление эксплуатационной работой» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: ntushin@zde.ru | **Кирилл Максимович Тимухин**, аспирант 3-го курса, ассистент кафедры «Станции, узлы и грузовая работа» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: herovolt2@ya.ru | **Римма Видадиевна Писарева**, аспирант 2-го курса, ассистент кафедры «Управление эксплуатационной работой» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: RVPisareva@usurt.ru

**Nikolai Andreevich Tushin**, Dr. of Technical Sciences, full member of the Russian Academy of Transport, Professor of the Department “Management of Operational work” of the Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg; e-mail: ntushin@zde.ru | **Kirill Maksimovich Timukhin**, 3rd-year graduate student, assistant of the Department “Stations, Junctions and Cargo Work” of the Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg; e-mail: herovolt2@ya.ru | **Rimma Vidadiyevna Pisareva**, 2nd-year graduate student, assistant of the Department “Management of Operational work” of the Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg; e-mail: RVPisareva@usurt.ru

В последние годы в среде экспертов-логистов набирает популярность перспективная логистическая концепция «Физический интернет». Ее внедрение может привести к увеличению загрузки транспортных средств, уменьшению холостых рейсов, сокращению сроков доставки, снижению запасов и, соответственно, цены товаров.

12 июля 2017 г. в рамках деловой программы VIII Международной промышленной выставки «Иннопром» состоялась панельная дискуссия «Физический интернет и его решения для лидеров промышленной логистики». Новая инновационная логистическая концепция «Физический интернет» в последние годы активно развивается в Канаде, США, Швейцарии и Франции. Над разработкой концепции трудились ученые университетов США и Канады. Целью работы является преодоление ряда недостатков, присущих действующей системе управления цепями поставок. Дело в том, что в настоящее время логистические сети по большей части принадлежат различным компаниям: производственным, торговым сетям, почтовым службам. Несмотря на использование единой инфраструктуры автомобильных и железных дорог, транспортные средства принадлежат различным предприятиям. Текущая концепция цепей поставок основана на вертикальной интеграции. Даже физически пересекающиеся потоки полностью разобщены. Разъединенность логистических сетей приводит к большому количеству перекрестных связей, встречным пробегам. Упор на управление запасами приводит к низкой средней загрузке автомашин, к высокому проценту порожних рейсов. По представленным на конференции данным американской статистики, среднее заполнение объема транспорта полезным грузом составляет 43%; доля порожних рейсов — 25%; потеря товаров при перевозке и в торговле в некоторых группах достигает 37%.

Несогласованное планирование производства и складских запасов большим количеством независимых игроков приводит к совокупной избыточности запасов и неликвидам. Еще одним следствием фрагментирования логистических цепей является медленное внедрение автоматизации и цифровых технологий в логистике. Для отдельного игрока это дорого.

Дальнейшее развитие концепции цепей поставок подразумевает переход от фрагментированных сетей к сети общедоступных и унифицированных распределительных центров, хабов, транспортных средств и тары (рис. 1).

На Международном логистическом форуме в рамках «Иннопрома» концепцию представил один из ее

главных разработчиков, профессор Технологического института Джорджии Бенуа Монтерей. Физический интернет (Physical Internet / PI /  $\pi$ ) — глобальная открытая логистическая система, основанная на принципах физической, цифровой и операционной взаимосвязи, стандартных и свободных «интерфейсах» и «протоколах» по аналогии с цифровым интернетом.

Разработчики физического интернета предлагают создать сеть распределительных центров для наиболее востребованных товаров разных производителей. Следующим шагом предусматривается создание унифицированной тары, так называемых  $\pi$ -контейнеров, в которые можно загрузить разнообразные товары. Транспорт адаптируется для загрузки контейнеров, которые снабжаются специальными ярлыками со стандартной информацией. Для негабаритных опасных, наливных, насыпных грузов остаются альтернативные цепи поставок.

Основные принципы физического интернета:

- открытый рынок транспортировки, хранения, поставки и использования товаров, огромное сообщество пользователей;
- материальные потоки перемещаются в специальных контейнерах ( $\pi$ -контейнеры);
- механизмы для грузопереработки спроектированы специально для работы с модульными  $\pi$ -контейнерами;
- транспортно-складские системы обеспечивают беспрепятственное движение  $\pi$ -контейнеров;
- $\pi$ -контейнеры снабжены удобными ярлыками с уникальной идентификацией, позволяющей отслеживать и принимать управляющее воздействие.

Модель физического интернета, предложенная учеными франкоговорящих стран на основе фактических данных о материальных потоках крупных французских торговых сетей, показала, что в секторе потребительских товаров общие логистические издержки снижаются на 32% (рис. 2).

Такой подход актуален и для России. В нашей стране доля логистических затрат в ВВП значительно выше, чем в США и Европе (табл. 1).

Чтобы не изобретать свои стандарты и не оказаться оторванными от рынка логистики, необходимо очень внимательно следить за глобальными тенденциями, за поисками универсальной грузовой единицы. Тем не менее опыт работы российских компаний, и особенно «Российских железных дорог», может оказаться весьма востребованным при создании новой логистической платформы.

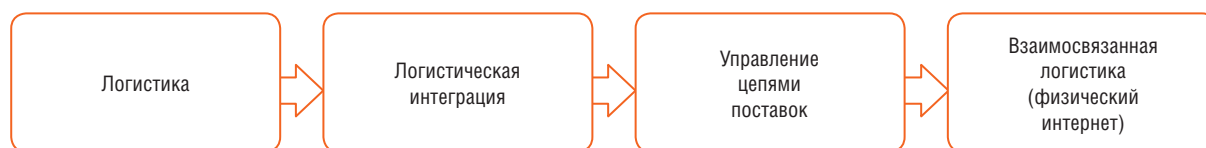


Рис. 1. Эволюция логистических концепций



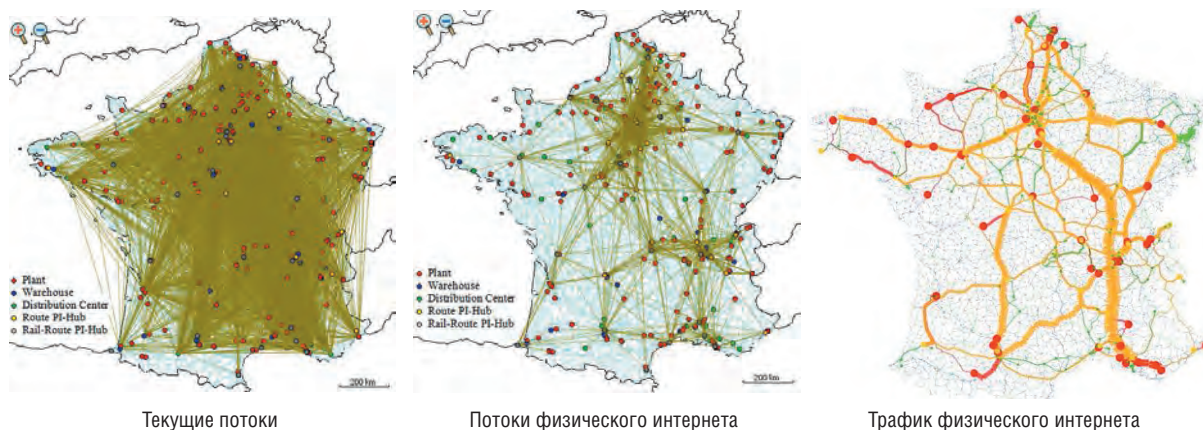


Рис. 2. Текущие потоки и потоки физического интернета

Таблица 1

## Доля логистических затрат в различных странах и доля аутсорсинга в логистике

Страна	Доля логистических затрат в ВВП, %	Доля аутсорсинга в логистике, %
США	8,5	81
Европа	9,2	65
Китай	18	49
Россия	19	32
Мир, итого	11,6	55

Реализация новой концепции подразумевает решение ряда традиционных для транспорта задач. Это оптимизация маршрутной сети, размещение распределительных центров, составление расписаний и решение задачи плана формирования отправок. Собственно, в концепции предусматривается ведение непрерывного планирования и управления на основе математических моделей (рис. 3).



Рис. 3. Облачное решение для взаимосвязанной логистики

Возникает задача выбора адекватных моделей и методов. Оптимизируемое исполнение подразумевает гибкую организацию эффективных традиционных связей и логистическое управление потоками. Проблемы логистической организации потоков в транспортно-складской системе представлены на рис. 4 [1].

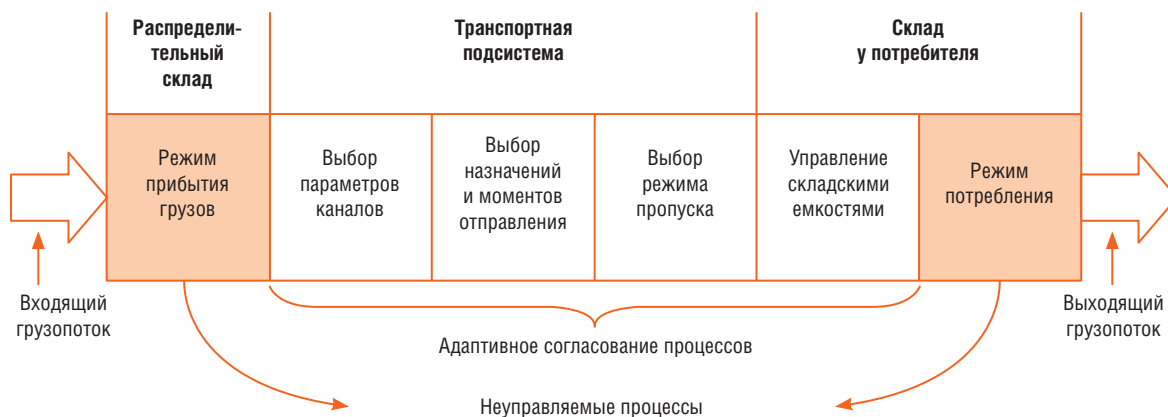


Рис. 4. Логистика в транспортно-складской системе

Теоретической основой для построения эффективных транспортно-складских систем с гибкой организацией транспортных связей является активизация динамических резервов [2].

Математические методы в расчетах логистических систем в нашей стране применяются довольно давно, с середины 1940-х годов прошлого века. Профессор Козлов П. А. провел исследование применения в задачах управления перевозками на железнодорожном транспорте различных моделей. Наряду с детерминированными аналитическими моделями [3] для решения задач плана формирования применяется математическое программирование (транспортная задача, более общие задачи линейного, нелинейного динамического программирования). Для оптимизации транспортных мощностей применялись вероятностные модели на базе теории массового обслуживания. Влияние факторов адаптивного управления исследуется на имитационных моделях, позволяющих воспроизводить процессы управления (рис. 5). Развиваются оптимизационные модели, позволяющие найти требуемую в динамике схему потоков. Для этого используется класс моделей под общим названием «Динамическая транспортная задача с задержками» [4]. В такой задаче можно учитывать:

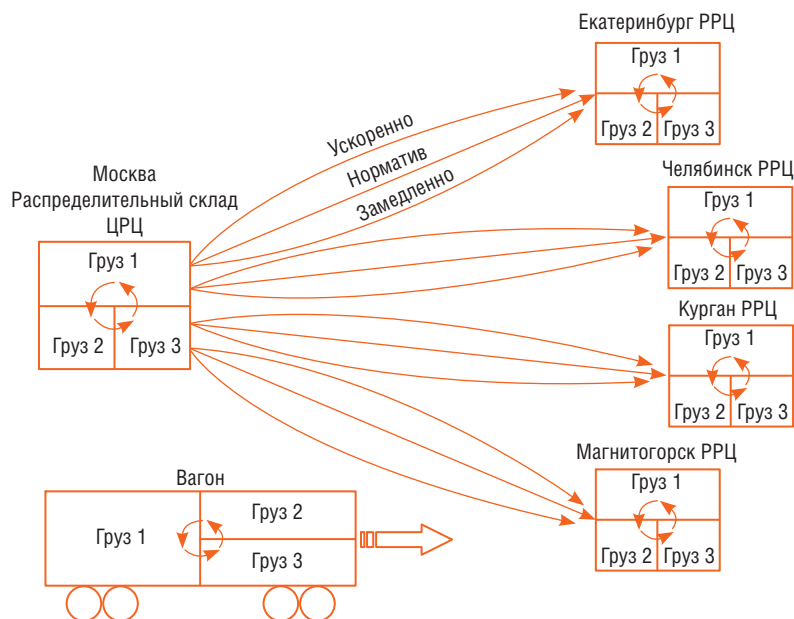


Рис. 5. Модель логистической системы с управлением временем доставки и структурой груза в вагоне

- графики выпуска продукции и динамику продаж;
- стоимость доставки по направлениям, в том числе различными транспортными единицами;
- сроки доставки, в том числе в разных технологических режимах;
- пропускную способность магистралей;
- перерабатывающую способность распределительных центров и складов;
- ограничения по вместимости складов, транспортной инфраструктуры.

Концепция физического интернета позволит не только найти оптимальную в динамике схему потоков, но и решить задачу оперативной корректировки плана формирования (адаптивный план формирования). Такая многокритериальная и «слабоструктурированная» задача требует развития диалоговых человеко-машинных систем и объединения моделей различных классов. **ИТ**

## Список литературы

1. Козлова В. П., Якушев Н. В. Распределенные транспортно-складские системы с логистической организацией грузопотоков // Транспорт: наука, техника, управление : научный информационный сборник / ВИНТИ РАН. — М. : ВИНТИ, 2007. — № 10. — С. 30–32. — ISSN 0236–1914.
2. Козлов П. А. Теоретические основы, организационные формы, методы оптимизации гибкой технологии транспортного обслуживания заводов черной металлургии : дис. на соиск. уч. степ. д-ра техн. наук : 05.22.12. — Липецк : ЛПИ, 1986. — 393 с.
3. Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах ОАО «РЖД». — М. : Техинформ, 2007. — 527 с.
4. Миловидов С. П., Козлов П. А. Динамическая транспортная задача с задержками в сетевой постановке // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. — 1982. — № 1. — С. 211–212.



**Николай  
Евгеньевич  
Окулов**

**Nikolai E.  
Okulov**



**Александр  
Валерьевич  
Шипулин**

**Alexander V.  
Shipulin**



**Николай  
Васильевич  
Якушев**

**Nikolai V.  
Yakushev**

## Организация подвода местных вагонов с использованием метода динамического согласования

### Organizing the supply of local carriages using dynamic matching method

#### Аннотация

В статье рассматривается технология согласованного подвода местных вагонов на станции участка. Проанализированы недостатки существующей технологии местной работы реального железнодорожного участка. Рекомендовано использовать метод динамического согласования для ритмичного подвода вагонов к грузовым фронтам.

**Ключевые слова:** местный вагон, метод динамического согласования, грузовой фронт, пути необщего пользования.

#### Abstract

The technology of coordinated supply of local carriages at the station of the area is considered in the article. The shortcomings of the existing technology of local work of a real railway section are analyzed. It is recommended to use the method of dynamic matching for the rhythmic supply of carriages to cargo fronts.

**Keywords:** a local carriage, dynamic matching method, cargo front, non-public use lines.

DOI:10.20291/2311-164X-2017-3-36-38

#### Авторы Authors

**Николай Евгеньевич Окулов**, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры «Управление эксплуатационной работой» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург; e-mail: NOkulov@usurt.ru | **Александр Валерьевич Шипулин**, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры «Управление эксплуатационной работой» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург; e-mail: AShipulin@usurt.ru | **Николай Васильевич Якушев**, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры «Управление эксплуатационной работой» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург; e-mail: NYakushev@usurt.ru

**Nikolai Evgenyevich Okulov**, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department "Management of the Operational Work" of the Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg; e-mail: NOkulov@usurt.ru | **Alexander Valeriyevich Shipulin**, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department "Management of the Operational Work" of the Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg; e-mail: AShipulin@usurt.ru | **Nikolai Vasilyevich Yakushev**, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department "Management of the Operational Work" of the Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg; e-mail: NYakushev@usurt.ru



Местная работа является важным элементом эксплуатационной деятельности. Работу с местными вагонами планируют на основании графика движения поездов, единого плана формирования поездов, технологических процессов работы станций, качественных и количественных показателей и планирования оперативной работы [1]. Но существующие методы организации местных вагонопотоков не учитывают условия работы грузовых фронтов. Процесс перевозки в настоящее время сопровождается различными информационными системами (ЭТРАН, ДИСПАРК, АСОУП и др.). Однако вручную практически невозможно рассчитать ритмы отправления, которые обеспечивают равномерное прибытие. Это все приводит или к простоям в ожидании подачи вагонов на грузовые фронты из-за их массового прибытия, или к простоям грузовых фронтов.

В качестве объекта исследования рассмотрен железнодорожный участок К–М. Участок имеет протяженность 169 км, ограничен техническими станциями К и М, линия К–М является двухпутной. На данном участке расположены 4 станции, на которых производится погрузка и выгрузка. Схема железнодорожного участка К–М представлена на рис. 1.

На участке К–М обращается 4 сборных поезда по твердым ниткам графика. Местная работа на участке К–М характеризуется значительной неравномерностью поступления вагонов на станции участка под грузовые операции (рис. 2–4).

Стоит заметить, что перерабатывающая способность грузовых фронтов на станциях участка ограничена. Так, например, по станции Г на ПП1 размер подачи составляет 10 вагонов, на станции Д грузовые операции на всех подъездных путях совершаются только в светлое время суток. Анализ работы участка показывает, что технология местной работы не учитывает интересов владельцев путей необщего пользования, тем самым нарушается ритмичность работы путей необщего пользования. Из-за значительного колебания вагонопотоков происходит сгущение поступления вагонов на станции участка в какой-либо период или, наоборот, отсутствуют вагоны для формирования подачи на путь необщего пользования. Это хорошо видно на примере станции Г (рис. 4), когда в начале суток в составе сборного приходит больше вагонов, чем может за раз обработать путь необщего пользования. Такая ситуация вызывает неравномерную загрузку как самой станции, так и подъездного пути. Многие владельцы путей необщего пользования работают только в дневное время суток, но вагоны в их адрес могут прибывать под конец рабочей смены (рис. 4), что также вызывает лишний простой как на самой станции, так и на подъездном пути. Несогласованность в работе железной дороги и подъездных путей приводит к излишним финансовым затратам владельцев путей необщего пользования. Тем самым нарушается модель корпоративных компетенций



Рис. 1. Схема участка К–М

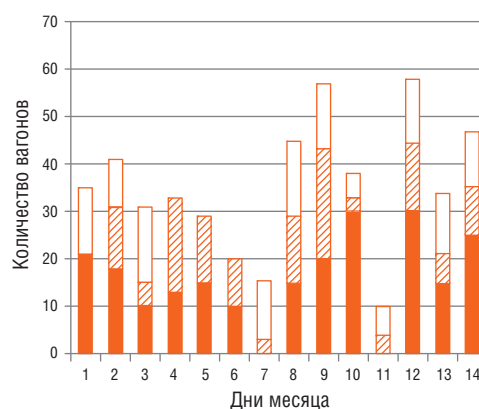


Рис. 2. Поступление вагонов на станцию Г:

□ — ПП3; ▨ — ПП2; ■ — ПП1

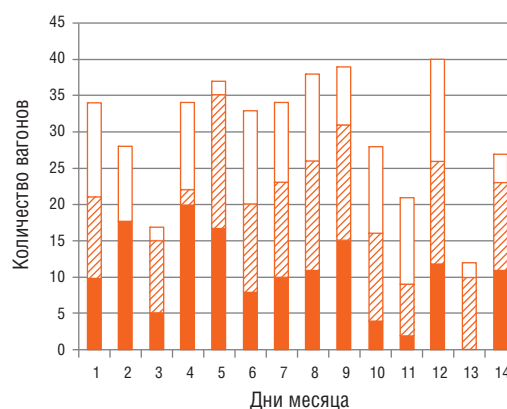


Рис. 3. Поступление вагонов на станцию Д:

□ — ПП3; ▨ — ПП2; ■ — ПП1

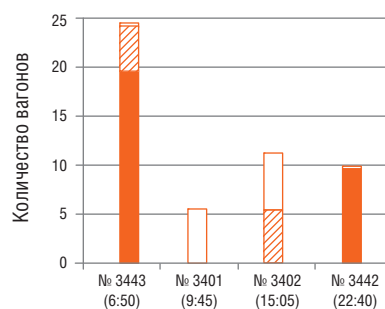


Рис. 4. Поступление вагонов в течение суток на станцию Г (указаны номер сборного поезда и время прибытия его на станцию):

□ — ПП3; ▨ — ПП2; ■ — ПП1

«5К+Л» ОАО «РЖД», а именно пункт «Клиентоориентированность» — ориентация на пользу для клиентов компании [2]. Но, как правило, процесс погрузки/выгрузки часто носит стохастический характер. И железная

дорога не всегда знает момент, когда на подъездном пути точно закончится процесс погрузки или выгрузки. В связи с этим у железной дороги нет возможности более точно спланировать местную работу на участке, чтобы учесть возможности грузовых фронтов. Поэтому для планирования подвода местных вагонов на техническую станцию и прогнозирования отправления с нее можно применить метод динамического согласования. Данный метод разработан на основе динамической транспортной задачи. [3]. МДС позволяет рассчитать ритмы отправления вагонов с технических станций, обеспечивающие равномерное прибытие на пути необщего пользования. При этом учитываются параметры и ограничения грузовых фронтов на каждой станции. Расчет начинается с любого построенного плана доставки [3]. Вводятся корректирующие переменные  $\omega_i(t)$  на технических станциях  $p_i$ , означающие уменьшение количества вагонов  $q_i(t)$  и, соответственно, увеличение  $q_i(t-1)$  на величину  $\omega_i(t)$  с производственными расходами  $c_i(t)$  (рис. 5).

Критерием оптимальности является экономический критерий минимума расходов на простой вагонов на учете железной дороги, транспортных расходов и расходов на простой вагонов на учете владельцев подъездных путей:

$$J_1 + J_2 + J_3 \rightarrow \min,$$

где:  $J_1 = \sum_{t=0}^T \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij}(t) \times u_{ij}(t)$  — транспортные расходы;

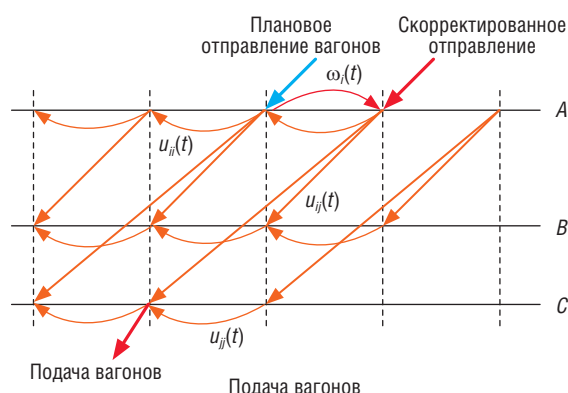


Рис. 5. Схема работы метода динамического согласования

$$J_2 = \sum_{t=0}^T \sum_{j=0}^n c_j(t) \cdot u_j(t) \text{ — расходы на простой вагонов}$$

на учете железной дороги;

$$J_3 = \sum_{t=0}^T \sum_{i=1}^m c_i(t) \cdot \omega_i(t+1) \text{ — расходы на простой вагонов}$$

на учете владельцев подъездных путей.

При этом можно задавать различные режимы пропуска вагонов разных собственников. Таким образом, метод динамического согласования способствует уменьшению рассогласованности ритмов работы транспорта и подъездных путей. Применение данного метода, следовательно, позволит уменьшить затраты владельцев путей необщего пользования из-за простоя вагонов как на самих подъездных путях, так и на путях грузовых и промежуточных станций; приведет к равномерной загрузке грузовых фронтов, станций. **ИТ**

## Список литературы

1. Левин Д. Ю. Организация местной работы : монография / Д. Ю. Левин. — М. : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013. — 612 с.
2. URL: <http://www.pult.gudok.ru/archive/detail.php?ID=899804>.
3. Козлов П. А., Осокин О. В., Тушин Н. А. Организационные подходы и модели оптимизации работы транспорта в современных условиях // Мир транспорта. — 2011. — № 5. — С. 18–23.



Владимир Сергеевич  
Тарасян

Vladimir S. Tarasyan



Адам Асгатович  
Нигматуллин

Adam A. Nigmatullin

## Использование нейросетевого управления в системах с запаздыванием

### The application of neural network control in time-delay systems

#### Аннотация

В статье представлена модель двухзвенного манипулятора, движимого по заданной траектории, описано построение математической модели в программной среде *Matlab* с помощью встроенного пакета *Simulink*. Обучена нейронная сеть для подавления помех, которые могут воздействовать на управляющий сигнал. Особое внимание уделено запасу прочности нейронной сети для отработки возможных запаздываний по каналу обратной связи.

**Ключевые слова:** нейросетевое управление, машинное обучение, манипулятор, запаздывание, программное движение.

DOI:10.20291/2311-164X-2017-3-39-43

#### Abstract

The article presents a model of a two-link manipulator movable along on given trajectory, described the construction of a mathematical model in the Matlab software environment using the built-in Simulink package. The neural network is trained to suppress interference, which can affect the control signal. Particular attention is paid to the strength's reserve of the neural network for working out possible delays on the feedback channel.

**Keywords:** neural network control, machine training, manipulator, delay, program motion.

#### Авторы Authors

**Владимир Сергеевич Тарасян**, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Мехатроника» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: VTarasyan@gmail.com | **Адам Асгатович Нигматуллин**, магистрант кафедры «Мехатроника» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: soliders94@gmail.com

**Vladimir Sergeevich Tarasyan**, Candidate of physic-mathematical sciences, Associate Professor, Department of "Mechatronics", Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg; e-mail: VTarasyan@gmail.com | **Adam Asgatovich Nigmatullin**, Master's degree student of the Department "Mechatronics" of the Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg; e-mail: soliders94@gmail.com



## Введение

В настоящее время нейронные сети находят свое применение в таких областях, как распознавание образов, моделирование, анализ временных рядов, обработка сигналов и управление системами [1, 2]. Такие широкие возможности обусловлены одним важным свойством нейросетей — способностью обучаться на основе полученных данных как при участии учителя, так и без его вмешательства. Машинное обучение, в частности нейросетевое управление, особенно полезно, когда в описании технических систем и процессов присутствует неопределенность, которая затрудняет применение точных количественных методов и подходов. Можно выделить следующие преимущества нейронных сетей:

- возможность решения задач при неизвестных закономерностях — нейросеть способна самостоятельно находить зависимости между входными и выходными данными, используя множество примеров;
- устойчивость к шумам во входных данных — отсутствует необходимость самостоятельно искать неинформативные входные сигналы, нейронная сеть сама определяет их малоприспособность для решения задачи;
- адаптирование к изменениям окружающей среды — уже обученные нейронные сети могут быть относительно легко переучены для работы в условиях незначительных колебаний;
- потенциально сверхвысокое быстродействие — нейронные сети обладают потенциально сверхвысоким быстродействием за счет использования массового параллелизма обработки информации.

В данной работе рассматривается приложение нейронных сетей для управления системой, в канале управления которой имеется запаздывание по времени. Объектом исследования в данной работе является интеллектуальная система управления в виде нейросетевого регулятора, предназначенного для управления двухзвенным манипулятором. Схема и параметры манипулятора, а также условия его движения взяты из сборника [3]. Следует отметить, что в сборнике рассматривается только механическая часть манипулятора с точки зрения теоретической механики.

## 1. Математическая модель

На рис. 1 изображен в некотором положении механизм манипулятора и показаны положительные направления отсчета углов  $\vartheta$ ,  $\psi$ ,  $\varphi$  и расстояния  $s$ .

Манипулятор, состоящий из звеньев 1, 2 и захвата  $D$ , приводится в движение приводами. Захват  $D$  перемещается вдоль прямой  $ON$ . Со стороны привода к звену 2 прикладывается управляющее усилие  $P$ . Привод  $B$  воздействует на звено 1 моментом  $M$ . Перемещение зве-

на 2 манипулятора ограничено препятствиями  $K$  и  $L$ , поэтому изменение угла поворота  $\varphi = \varphi(t)$  этого звена возможно лишь в промежутке  $[\varphi(0), \varphi(\tau)]$ , где  $\tau$  — время движения звена.

Технические условия работы манипулятора требуют, чтобы указанное звено сошло со связи  $K$  при  $t = 0$  и «мягко» коснулось препятствия  $L$  при  $t = \tau$ , т.е. так, чтобы были удовлетворены условия:

$$\left. \frac{d}{dt} \varphi(t) \right|_{t=0, t=\tau} = 0, \quad \left. \frac{d^2}{dt^2} \varphi(t) \right|_{t=0, t=\tau} = 0. \quad (1)$$

Программные движения звена 1, удовлетворяющие требованиям «мягкого» касания, приняты в виде:

$$\varphi(t) = \varphi(0) + [\varphi(\tau) - \varphi(0)] \left[ \frac{t}{\tau} - \frac{1}{2\pi} \cdot \sin\left(\frac{2\pi t}{\tau}\right) \right]. \quad (2)$$

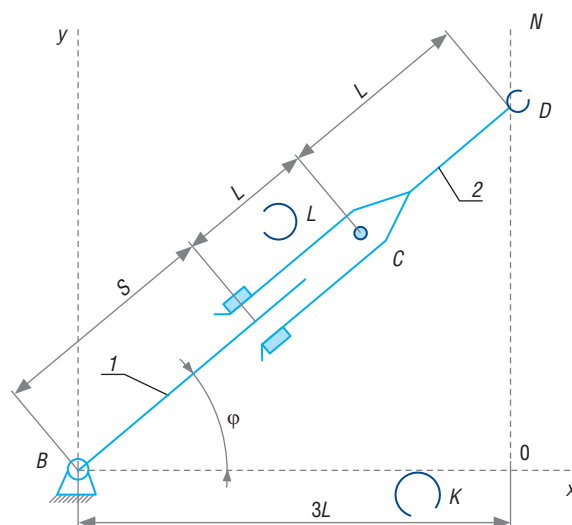


Рис. 1. Схема двухзвенного манипулятора

Уравнения движения манипулятора могут быть получены с использованием уравнений Лагранжа второго рода. Математическая модель маятника может быть описана в виде системы дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} (I_1 + I_2 + m_1 \cdot (s + l)^2) \ddot{\varphi} + 2m_1 \cdot (s + l) \cdot \dot{s} \cdot \dot{\varphi} &= M, \\ m_1 \cdot \ddot{s} + m_1 \cdot (s + l) \cdot \dot{\varphi} \cdot \dot{s} &= P. \end{aligned} \quad (3)$$

Система уравнений (3) задает выражения для  $P$  и  $M$  на время движения  $[0, \tau]$ . Здесь  $I_1, I_2$  — моменты инерций первого и второго звена;  $m_1, m_2$  — массы первого и второго звена;  $\varphi$  — угол поворота манипулятора;  $M$  — управляющий момент;  $P$  — управляющее усилие.

После преобразования выражений Лагранжа второго рода была составлена компьютерная модель манипулятора в среде *Simulink*, представленная на рис. 2.

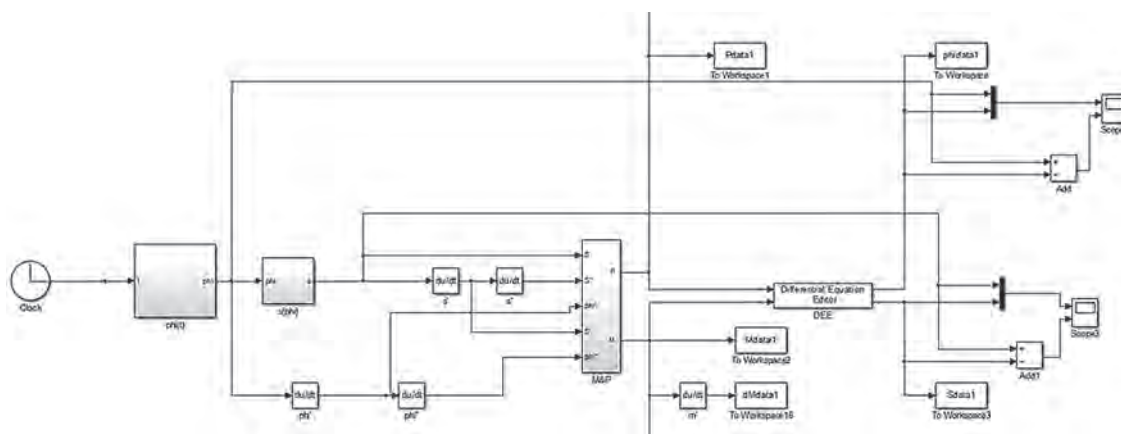


Рис. 2. Модель двухзвенного манипулятора

Модель работает следующим образом. При запуске на вход блока  $\varphi(t)$  поступает сигнал. После расчета  $\varphi(t)$  подается на блоки, производящие необходимые математические операции, в ходе которых вычисляются  $s$ ,  $M$  и  $P$  в соответствии с заданными уравнениями.

## 2. Описание системы управления

Для отработки синусоидальной ошибки на входе системы был создан блок управления на основе нейронных сетей. В качестве входных данных создан массив данных, в который входят данные  $\text{deltaphi}$  и  $\text{deltaphi1}$  — изменений угла поворота манипулятора и его первая производная, а также  $Mdata1$  и  $Pdata1$  — данные момента  $M$  и усилия  $P$  в системе с возмущением.

В качестве целевых данных использован массив данных  $\text{deltaM}$  ( $\text{deltaP}$ ), представляющий собой разницу между «чистым» (без помех) параметром  $M(P)$  и «грязным» (с синусоидальной ошибкой).

Для построения системы управления была выбрана нейронная сеть типа *Feed-forward backprop* с четырьмя слоями (один входной, два скрытых и один выходной). На входном слое (10 нейронов) и первом скрытом слое (7 нейронов) выбрана функция *TANSING*, на втором скрытом

слое (4 нейрона) выбрана функция *LOGSIG*, на выходном слое (1 нейрон) выбрана функция *PURELINE* для корректной работы системы. На рис. 3 представлены обученные нейронные сети для параметров  $M$  и  $P$ .

## 3. Обработка запаздывания

В отличие от «идеальной» модели в реальных мехатронных системах все составляющие имеют свои времена срабатывания. Это сильно влияет на управляющий сигнал и, соответственно, на точность ра-

боты манипулятора. Целью данной работы было исследовать возможность блока управления, работающего на нейронной сети, отработки такие запаздывания.

Для этого в изучаемую модель был введен блок *Delay* с настраиваемым временем запаздывания (рис. 4). Время движения манипулятора — 1 секунда. Шаг исследования имитационной модели — 0,0001 с. Были исследованы три случая задержки сигнала: 0,001 с (10 шагов в имитационной модели); 0,01 с (100 шагов в имитационной модели) и 0,1 с (1000 шагов в имитационной модели).

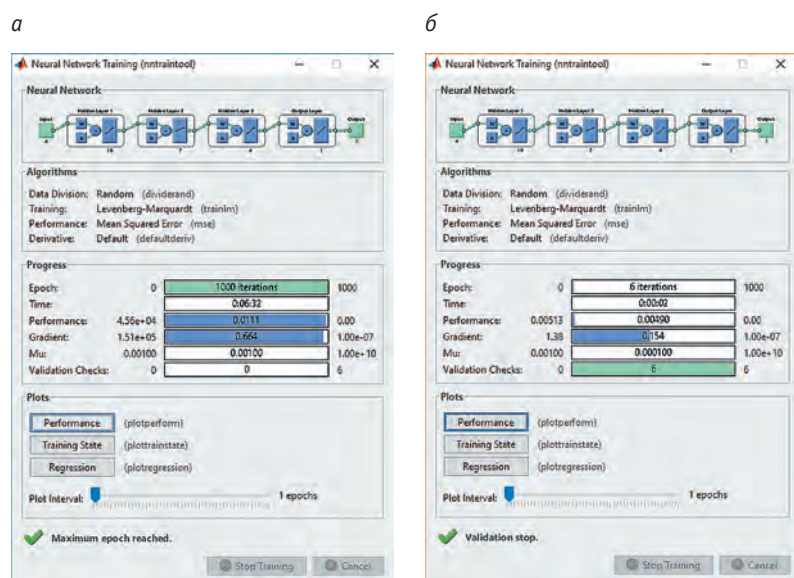


Рис. 3. Обученные нейросети: а — параметр  $M$ ; б — параметр  $P$

Графики полученных экспериментов приведены на рис. 5–7. Как можно наблюдать из графиков, система остается достаточно стабильной даже при наличии задержки в 0,01 с.

Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод, что нейронные сети достаточно точно

справляются с эмуляцией управляющего воздействия при наличии небольшого запаздывания в канале управления. Обученная нейронная сеть имеет запас прочности по запаздыванию, который позволяет не обучать систему заново для каждого частного случая. Это свидетельствует о большой универсальности нейронных систем.

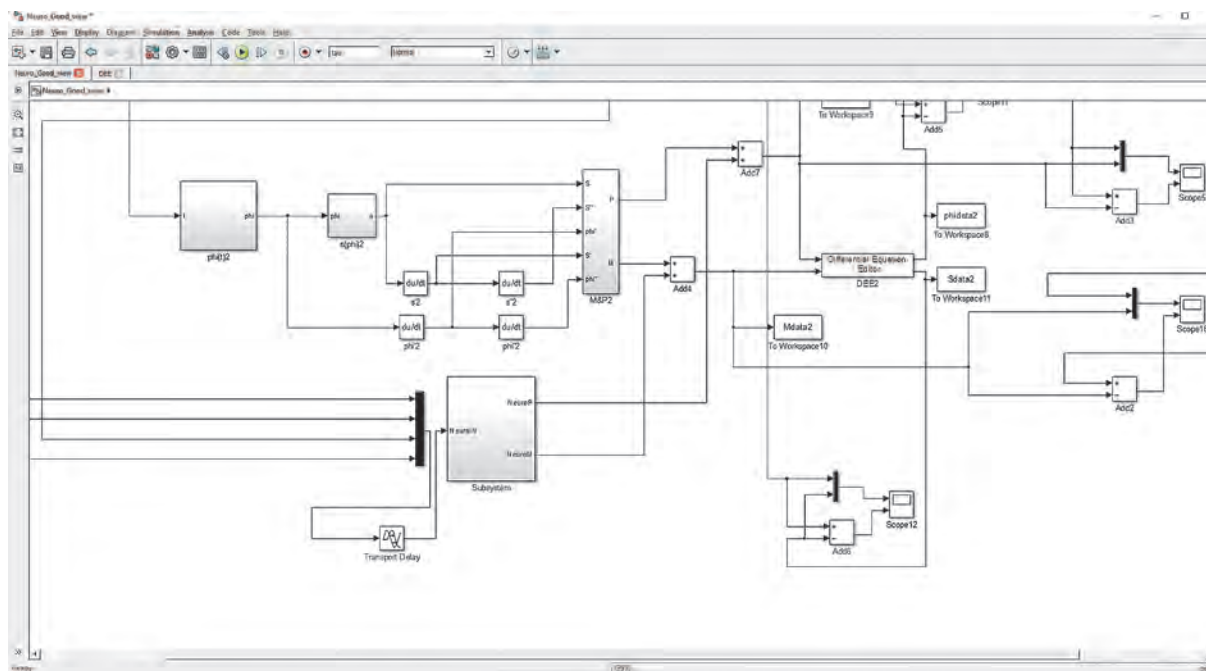


Рис. 4. Введение блока Delay перед входом на блок управления

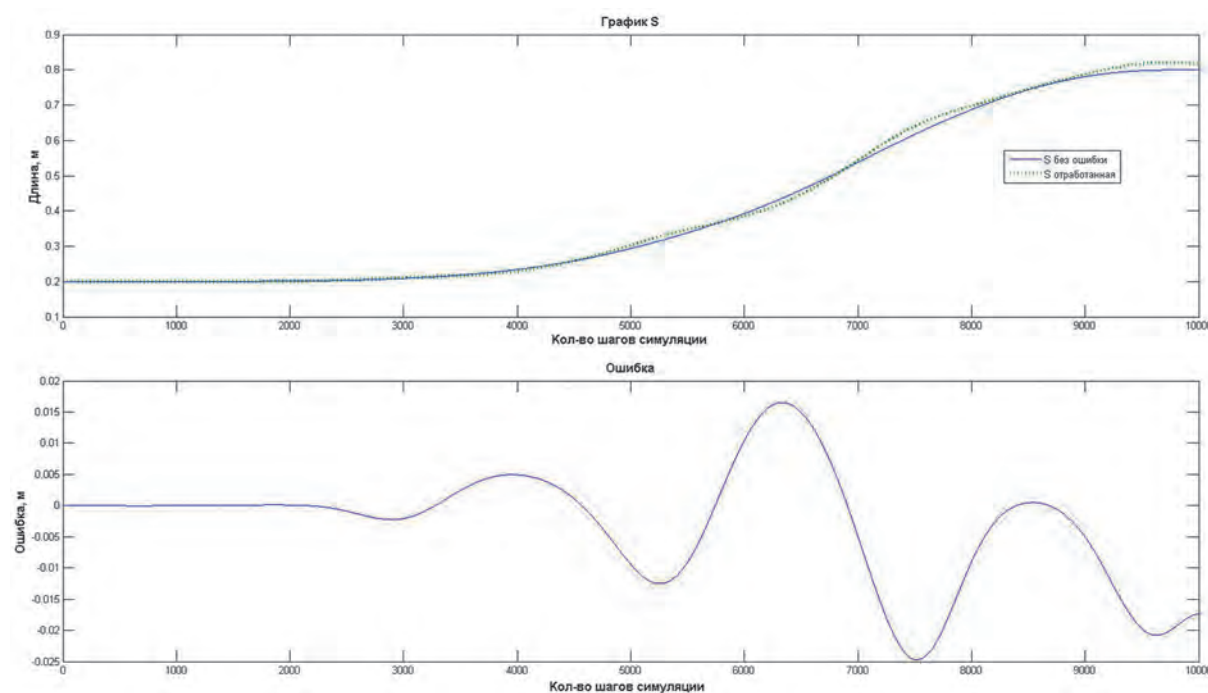


Рис. 5. Линейная координата  $s$  при задержке 0,001 с (10 шагов)



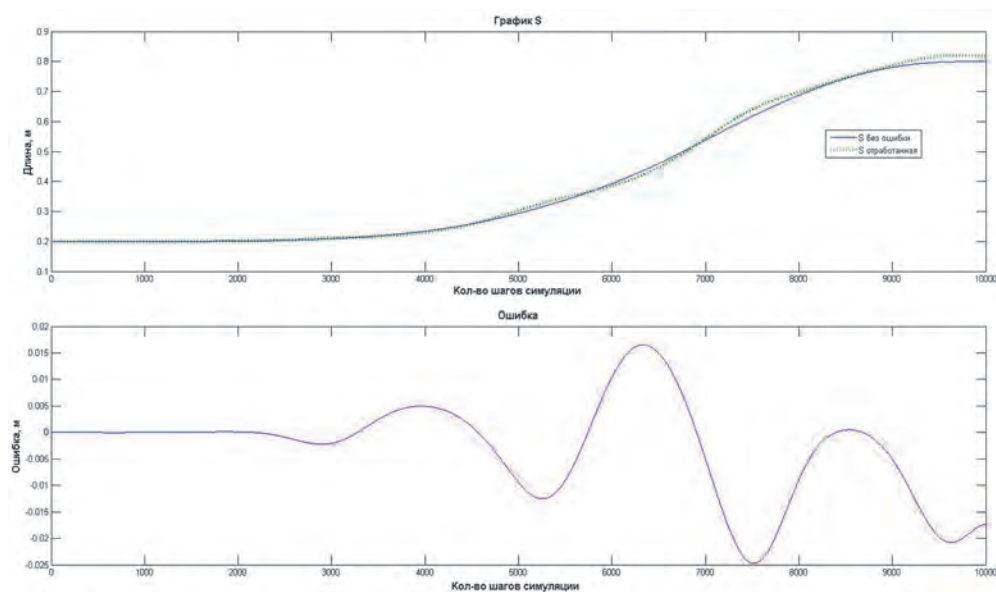


Рис. 6. Линейная координата  $s$  при задержке 0,01 с (100 шагов)

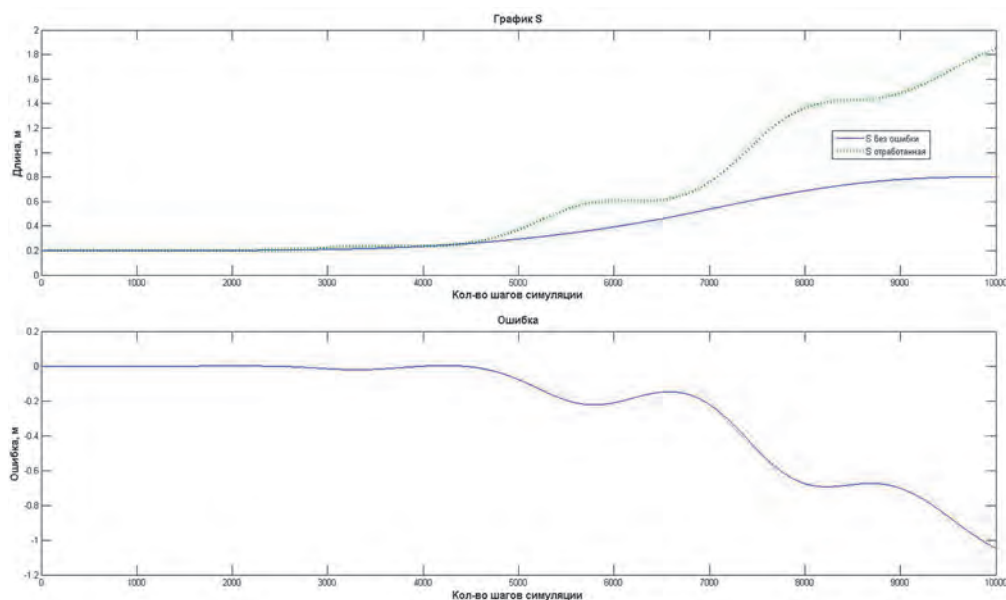


Рис. 7. Линейная координата  $s$  при задержке 0,1 с (1000 шагов)

## Заключение

Была описана система двухзвенного манипулятора в пакете *Matlab*, разработан блок управления на основе нейронных сетей, изучен запас прочности блока

управления по задержке в системе. По полученным результатам можно сделать вывод, что блок управления на основе нейронных систем имеет относительно большой запас прочности без необходимости переобучения. **ИТ**

## Список литературы

1. Хайкин С. Нейронные сети : полный курс / пер. с англ. — 2-е изд. — М. : Издательский дом «Вильямс», 2006. — 1104 с.
2. Люггер Д. Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. — М. : Издательский дом «Вильямс», 2005. — 864 с.
3. Яблонский А. А. Сборник задач для курсовых работ по теоретической механике : учебное пособие для технических вузов. — 5-е изд., исправленное. — М. : Интеграл-Пресс, 2000. — 384 с.



Мария Александровна  
Скутина

Maria A. Skutina



Максим Михайлович  
Мыльников

Maxim M. Mylnikov

# Современные методы обследования водопропускных труб

## Modern methods of inspection of culverts

### Аннотация

Обследование малых искусственных сооружений является актуальным и востребованным вопросом при эксплуатации железных и автомобильных дорог. В статье предлагается использование электронных технических и программных устройств, позволяющих улучшить условия труда и оптимизировать технологические процессы обследования водопропускных труб.

**Ключевые слова:** водопропускные трубы, малые искусственные сооружения, обследование, оптимизация, программное обеспечение, электронные технические средства.

### Abstract

Inspection of small artificial structures is an urgent and demand issue in the operation of railways and highways. The article proposes the use of electronic, technical and software devices that improve working conditions and optimize the technological processes of inspection of culverts.

**Keywords:** culverts, small artificial structures, inspection, optimization, software, electronic technical means.

DOI:10.20291/2311-164X-2017-3-44-48

### Авторы Authors

Мария Александровна Скутина, аспирант первого года обучения кафедры «Путь и железнодорожное строительство» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | Максим Михайлович Мыльников, студент пятого года обучения кафедры «Путь и железнодорожное строительство» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

Maria Aleksandrovna Skutina, post-graduate student of the first year of the department "Line and Railway Construction" of the Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg | Maxim Mikhailovich Mylnikov, 5th-year student of the Department "Line and Railway Construction" of the Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg

Водопропускные трубы — преимущественно используемый на дорогах Российской Федерации вид искусственных сооружений (ИССО) для пропуска под земляным полотном дороги постоянных или периодически действующих водотоков. Помимо основной функции трубы играют роль тоннелей для пешеходов либо скотопрогонов [1].

Достоинством применения труб по сравнению с малыми мостами является сохранение непрерывности и однообразия проезжей части автомобильной дороги, что положительно сказывается на безопасности движения транспортных средств, не снижая при этом расчетных скоростей. Кроме того, водопропускные трубы отличает простота конструкции и способов сооружения.

В процессе эксплуатации трубы подвергаются различного рода воздействиям окружающей среды, объектов транспорта, в связи с этим неизбежно ухудшается их техническое состояние. На состояние водопропускных труб оказывают влияние такие факторы, как внешняя нагрузка, зависящая от проходящего транспорта; толщина, вид и состояние окружающих грунтов, водно-тепловые режимы земляного полотна. Потoki водяных масс, характеризующиеся по степени агрессивности, спо-

собны вызывать коррозионные процессы материалов конструктивного обустройства, вымывание и переувлажнение грунта вокруг трубы и ее деформацию. В результате грунтовых подвижек происходят просадки тела трубы, подмыв насыпи с деформацией грунтов. Кроме того, при неправильном проектировании на входе и выходе трубы происходит размыв лотков и откосов насыпи, образуются ямы размыва, свидетельствующие о несоответствии конструкции трубы водным условиям. Характерным дефектом является также заиливание труб и выходного русла [2].

Таким образом, как и другие искусственные сооружения, действующие водопропускные трубы, являясь объектом инфраструктуры транспорта, подлежат регулярным обследованиям и испытаниям [3], которые выполняются при текущем содержании с требуемой периодичностью.

В целях совершенствования процессов учета малых искусственных сооружений (водопропускных труб) на автомобильных дорогах общего пользования федерального и муниципального значений, мониторинга, анализа и контроля их технического состояния с 22 декабря 2011 г. в промышленную эксплуатацию введена «Автоматизированная система управления и обработки информации

по искусственным дорожным сооружениям федерального дорожного агентства» (АБДМ ФДА) [4]. Система представляет собой комплекс информационных, программных и технических средств, направленных на повышение уровня контроля, исполнительской дисциплины, степени обоснованности принимаемых решений по вопросам обследований технического состояния искусственных сооружений.

Ежегодно подведомственные учреждения ФДА Росавтодор — ФКУ субъектов Российской Федерации на конкурсной основе (тендер) определяют подрядные организации, которые в соответствии с заранее объявленными в документации условиями в оговоренные сроки производят диагностику и оценку технического состояния водопропускных труб на автомобильных дорогах общего пользования того или иного субъекта РФ с разработкой технической документации на трубы и в случае необходимости определением объемов ремонтных работ.

На примере технического задания [5], служащего основополагающим документом производства работ для подрядной организации, разработана схема распределения труда, необходимого инвентаря и рабочей силы (рис. 1).

	Полевые работы			Камеральные работы			
Состав рабочих							
	Геодезист	Вешечник	Обследователь	Чертеж	Дефекты	Паспорт	АБДМ
Оборудование и ПО							
Производительность	15–20 сооружений за рабочую смену (12 часов)			15–20 сооружений за рабочий день (8 часов)			

Рис. 1. Схема распределения труда, инвентаря и рабочей силы при обследовании водопропускных труб



На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что для обследования 100 водопропускных труб необходимо иметь рабочий штат в составе 12 человек. Срок производства работ в таком случае составит 10 рабочих дней без учета времени следования к месту производства работ. При полевых и камеральных работах велика вероятность человеческой ошибки ввиду использования большого количества единиц оборудования и программного обеспечения разными сотрудниками. Многие производственные процессы не автоматизированы и представляют собой череду однообразных рутинных действий. Поэтому имеет смысл принять меры по общей автоматизации и рационализации производственных процессов для задач обследования и анализа технического состояния водопропускных труб на автомобильных дорогах общего пользования.

На кафедре «Путь и железнодорожное строительство» УрГУПС разрабатывается комплекс программных и электронных технических средств ОРМА ИССО, который позволит решить некоторые проблемы обследования малых искусственных сооружений. В состав комплекса входит полевой контроллер ОРМА Pad со специализированным программным обеспечением, позволяющий улучшить качество и оптимизировать получение полевых данных о сооружении, а также комплект программных продуктов ОРМА Work, предназначенный для автоматизации учета, анализа и подготовки технической документации по сооружениям на стадии камеральных работ.

Целью создания настоящего комплекта устройств является снижение трудозатрат, уменьшение количества необходимых единиц оборудования, замена совокупного множества программных продуктов единым комплексом, позволяющим организовывать работу с данными последовательно и взаимосвязанно (рис. 2).

Полевой контроллер ОРМА Pad представляет собой multifunction-









	Полевые работы			Камеральные работы
Состав рабочих				
	Геодестист	Вешечник	Обследователь	Чертеж, Дефекты, Паспорт, АБДМ
Оборудование и ПО				
Производительность	15–20 сооружений за рабочую смену (12 часов)			15–20 сооружений за рабочий день (8 часов)

Рис. 2. Схема распределения труда, инвентаря и рабочей силы при обследовании водопропускных труб с использованием ОРМА ИССО

ональный портативный компьютер, который обладает широкими возможностями и позволяет упростить выполнение работ по обследованию сооружения, повысить качество геодезической съемки, обмерных работ и выявления дефектов конструкций. Поскольку устройство предназначено для работы в сложных природных условиях, контроллер имеет высокую степень защиты от механических воздействий, пыли и влаги, может работать без снижения производительности в широком температурном диапазоне. Широкая функциональность устройства обусловлена тем, что контроллер призван заменить часть рабочего оборудования, необходимого рабочему в условиях обследования.

В настоящее время составление полевого журнала с занесением данных об элементах и конструкциях сооружения, ведомости дефектов с их описанием, журнала точек съемки, абрисов и полевых планов производится на бумажном носителе с использованием пишущих принадлежностей. В условиях обследования при неблагоприятных природных условиях, при наличии постоянных водотоков и стесненности работ, при недостаточном освещении использование бумажных журналов не только непрактично, но и может привести к утрате данных. Сказывается так-

же нехватка свободных рук, так как обследователь одновременно производит осмотр, замеры, фотофиксацию и запись данных, используя при этом различного рода инвентарь.

Вопрос эргономичности учтен при разработке полевого контроллера. Его конструкция и возможность крепления к геодезическому оборудованию и непосредственно к рабочему костюму сотрудника позволяют пользователю освободить руки и уделить внимание непосредственно поставленным задачам (рис. 3).



Рис. 3. Варианты крепления полевого контроллера: слева — на груди, справа — на геодезическом оборудовании

Контроллер обладает широкими коммуникативными интерфейсами. Помимо встроенных модулей фото- и видеокамеры, вспышки-фонаря, GPS, GSM/4G, устройство может работать в режиме обмена данными с современным геодезическим оборудованием — электронными тахеометрами и GNSS-приемниками

по протоколам Wi-Fi и Bluetooth. Удобство и простота эксплуатации подкрепляются большим сенсорным экраном с возможностью работы в перчатках.

Полевой контроллер наделен специализированным программным обеспечением, которое при необходимости можно расширить за счет использования в устройстве популярных операционных систем Windows и Android (в зависимости от комплектации).

Основным приложением OPMA Pad является электронный полевой журнал (DFL — Digital Field Log), разделенный на три основных блока рабочих процедур.

Дополнительное встроенное ПО для полевого контроллера — программа «Полевой навигатор». Она помогает участникам полевых работ наметить рациональный маршрут движения в случае обследования большого количества сооружений (более 50). Кроме того, программа позволяет на основе заранее сформированного перечня сооружения с известным местоположением отследить движение рабочей группы, получить информацию о ежедневной статистике производства работ (количество выполненных объектов, среднее время/скорость движения и работ и т.п.).

Полевой контроллер обладает встроенной памятью, объем которой при необходимости может быть расширен использованием карт памяти и USB-накопителей. Встроенная аккумуляторная батарея позволяет устройству бесперебойно работать в течение рабочей смены и поддерживает зарядку от автомобильных розеток. Защита и сохранность рабочих полевых данных обусловлена применением современных программных алгоритмов, позволяющих производить запись данных после каждого действия пользователя без снижения общей производительности и роста энергопотребления.

Таким образом, полевой контроллер позволяет автоматизировать период полевых работ при обследовании водопропускных труб, про-

водить оценку качества измерений и наблюдений, хранить полученные результаты, обладает широким набором функций.

В состав программного комплекса OPMA ИССО входит набор программ для камеральных работ OPMA Work. Целью создания настоящего набора утилит послужила необходимость увеличения производительности труда отдельных видов работ в технологической цепочке (в частности, подготовка графической составляющей — чертежей сооружений), снижения вероятности возникновения ошибок в результате применения большого количества сторонних программ, повышения качества и обоснованности технических заключений по результатам обследования.

Одна рабочая станция OPMA Work может работать как самостоятельно, так и в связке с другими продуктами OPMA ИССО. Схема реализации обмена данными представлена на рис. 4.

OPMA Work имеет четыре программных модуля: «Чертеж», «Дефекты», «Паспорт», «АБДМ», выполняющих отдельные задачи, при этом работа ведется в формате единой информационной среды, позволяющей обмениваться данными в реальном времени не только в пределах одной рабочей станции, но и в компьютерной сети предприятия, состоящей из нескольких рабочих мест. Это решение необходимо в связи с тем, что комплекс работ по обследованию предполагает получение и взаимосвязь большого количества разнородных данных, на основании которых формируется комплексная оценка технического состояния искусственного сооружения. На рис. 5 представлена схема формирования комплексной оценки технического состояния сооружения, структура которой довольно сложна. Комплекс программ OPMA Work позволяет систематизировать и эффективно производить анализ данных обследования.



Рис. 4. Схема реализации обмена данными между продуктами OPMA при обследовании водопропускной трубы

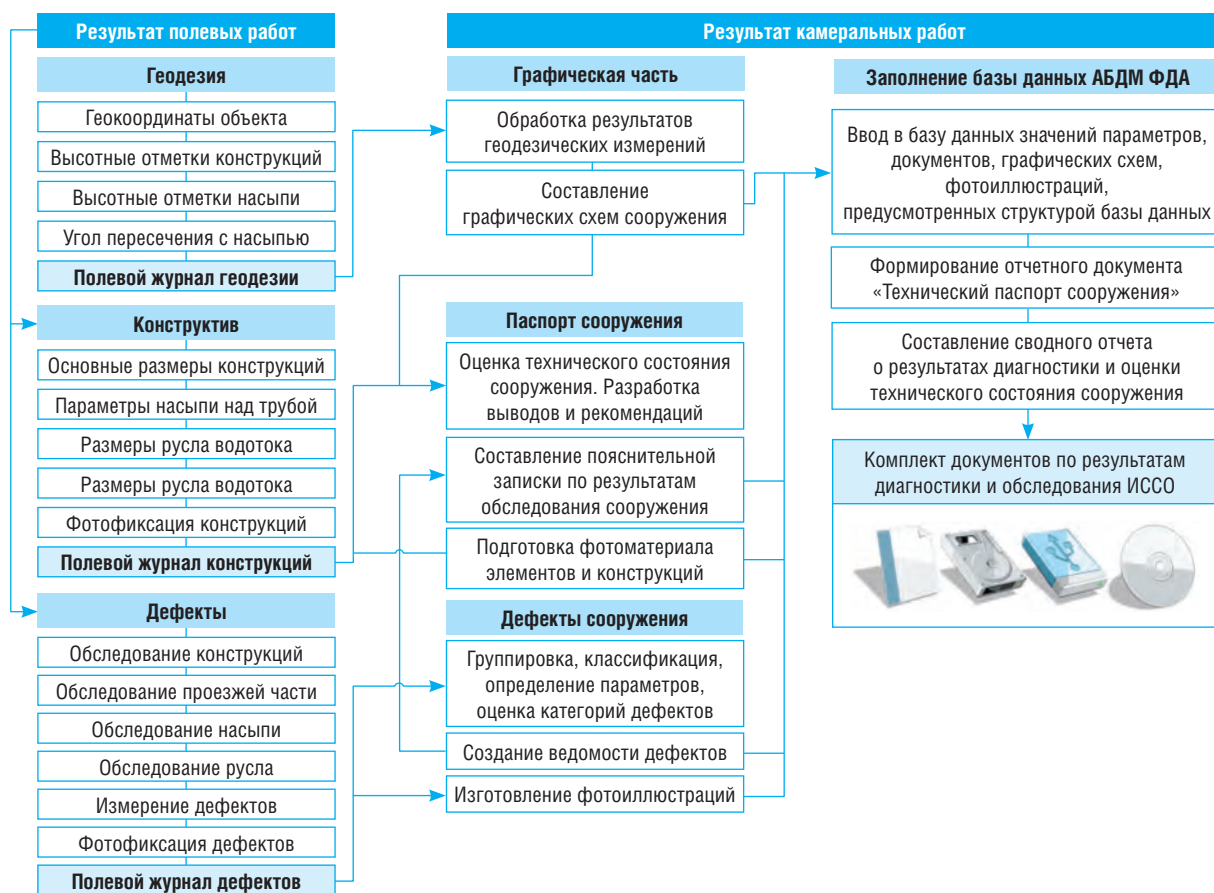


Рис. 5. Схема формирования комплексной оценки технического состояния сооружения

Таким образом, возвращаясь к рис. 2, можно сделать вывод, что при обследовании водопропускных труб с использованием средств программного комплекса ОРМА ИССО при равном объеме работ (100 объектов) можно достичь снижения трудозатрат более чем в 4 раза, тем са-

мым увеличить производительность труда без снижения качества производства работ.

Применение предложенных продуктов позволит улучшить условия труда за счет использования меньшего количества единиц оборудования. Выполнение многих производ-

ственных процессов автоматизировано. Система операционного контроля качества способствует уменьшению вероятности возникновения ошибок и неточностей, связанных с человеческим фактором производства работ. **ИТ**

## Список литературы

1. Лисов В. М. Дорожные водопропускные трубы. — М. : Информ.-изд. центр «ТИМР», 1998. — 140 с.
2. ОС-28/1270-ис. Методические рекомендации по ремонту и содержанию автомобильных дорог общего пользования (взамен ВСН 24–88) от 17.03.2004.
3. СП 79.13330.2012. Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний: утв. приказом Минрегион России от 30.06.2012 г. № 273.
4. Приказ Росавтодора (Федерального дорожного агентства) о вводе в промышленную эксплуатацию Автоматизированной системы управления и обработки информации по искусственным дорожным сооружениям (АБДМ) от 21.12.2011 № 317.
5. Выполнение работ по диагностике и оценке технического состояния водопропускных труб на автомобильных дорогах общего пользования Ленинградской области. Участок 4: РосТендер. — URL: <http://rostender.info/> (дата обращения: 21.03.2017).





Алексей Анатольевич  
Ковалев

Alexei A. Kovalev



Дмитрий Сергеевич  
Паныч

Dmitry S. Panych

## Моделирование тепловых процессов в контактном проводе методом конечных элементов в программном комплексе Comsol Multiphysics 5.2

### Modeling of thermal processes in a contact wire by the finite element method using Comsol Multiphysics 5.2 software package

#### Аннотация

Наиболее частой причиной возникновения аварийной ситуации из-за выхода из строя контактной сети являются недопустимые перегрузки проводов тяговым током. Такие перегрузки могут привести к недопустимому нагреву проводов, в результате чего снижается их механическая прочность и ускоряется старение проводов, а также к неудовлетворительному качеству токосъема.

В данной статье рассмотрены тепловые процессы, происходящие в контактной сети при транзите электроэнергии, определена температура контактного провода при заданном значении тока за определенный отрезок времени. Расчет выполнен в программном комплексе продукта Comsol Multiphysics 5.2.

**Ключевые слова:** контактная сеть, плотность тока, уравнение теплопроводности, тепловой поток, температура.

#### Abstract

The most common cause of an emergency situation due to a failure of the contact network is the unacceptable overload of the wires by traction current. Such overloads can lead to unacceptable heating of the wires, resulting in reduced their mechanical strength and accelerated aging of the wires, as well as to an unsatisfactory quality of the current collection. The article considers the thermal processes occurring in the contact network during the transit of electricity, the temperature of the contact wire is determined for a given value of the current for a certain period of time. The calculation is performed in the software package of the product Comsol Multiphysics 5.2

**Keywords:** contact network, current density, the equation of heat conduction, heat flow, temperature.

DOI:10.20291/2311-164X-2017-3-49-52

#### Авторы Authors

**Алексей Анатольевич Ковалев**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроснабжение транспорта» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Дмитрий Сергеевич Паныч**, аспирант кафедры «Электроснабжение транспорта» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

**Alexei Anatolyevich Kovalev**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "The Power Supply of Transport" of the Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg | **Dmitry Sergeevich Panych**, post-graduate student of the Department "The Power Supply of Transport" of the Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg

## Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

При протекании тягового тока в контактной подвеске выделяющаяся в элементах системы тягового электроснабжения теплота вызывает целый ряд нежелательных эффектов, таких как изменение геометрии цепной подвески, что требует установки компенсаторов и ведет к усложнению ее конструкции и эксплуатации, старению проводов (т. е. к ухудшению их механических характеристик при воздействии температуры), тем самым существенно снижается надежность нормальной эксплуатации подвески [1].

В качестве примера для расчета тепловых процессов в контактном проводе была использована контактная подвеска М-120+МФ-100, параметры которой приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

### Параметры контактного провода

Тип провода	Контактный провод
Марка провода	МФ-100
Площадь поперечного сечения, мм <sup>2</sup>	100
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	8900
Теплоемкость, Дж/(кг·К)	385
Теплопроводность, Вт/(м·К)	401
Удельное сопротивление пост. току при 20 °С, Ом·м	1,7Е-08
Коэффициент увеличения сопротивления, 1/К	0,0039

Таблица 2

### Параметры несущего троса

Тип провода	Несущий трос
Марка провода	М-120
Площадь поперечного сечения, мм <sup>2</sup>	120
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	8900
Теплоемкость, Дж/(кг·К)	385
Теплопроводность, Вт/(м·К)	401
Удельное сопротивление пост. току при 20 °С, Ом·м	1,7Е-08
Коэффициент увеличения сопротивления, 1/К	0,0039

Тип контактной подвески должен обеспечивать прохождение тягового тока требуемого значения, необходимого для движения электроподвижного состава, при заданных размерах движения с установленными параметрами. Для данной контактной подвески допустимой нагрузкой на контактную сеть является 1230 А для электрифицированных железных дорог переменного тока [2].

Произведем расчет для допустимых токов, протекающих в контактном проводе и несущем тросе, при допустимой нагрузке для данной контактной подвески, с длиной пролета  $L = 50$  м.

$$I_{\text{кп}} = \frac{Z_{\text{нт}}}{Z_{\text{кп}} + Z_{\text{нт}}} \cdot I_{\text{кс}}; \quad (1)$$

$$I_{\text{нт}} = \frac{Z_{\text{кп}}}{Z_{\text{кп}} + Z_{\text{нт}}} \cdot I_{\text{кс}}, \quad (2)$$

где  $I_{\text{кп}}$  — ток, протекающий в контактном проводе, А;  $I_{\text{нт}}$  — ток, протекающий в несущем тросе, А;  $Z_{\text{кп}}$  — сопротивление контактного провода, Ом;  $Z_{\text{нт}}$  — сопротивление несущего троса, Ом;  $I_{\text{кс}}$  — ток, протекающий в контактной сети, А.

Сопротивление контактного провода и несущего троса определяется из формулы:

$$z = \rho \cdot \frac{l}{S}, \quad (3)$$

где  $\rho$  — удельное сопротивление материала (для меди =  $1,7 \cdot 10^{-8}$ ), Ом·мм<sup>2</sup>/м;  $l$  — длина проводника, м;  $S$  — площадь поперечного сечения, мм<sup>2</sup>.

Сопротивления контактного провода и несущего троса для данной длины пролета равны 0,0085 Ом и 0,0071 Ом соответственно. Исходя из значений сопротивления для контактной подвески и считая ток в контактной сети равным 90 % от допустимых значений, из формулы (1) и (2) получаем значения токов 603,2 А для несущего троса и 503,2 А для контактного провода.

Вследствие транзита тока по контактной подвеске происходит нагрев токоведущих частей, что приводит к старению проводов, а также к ухудшению качества токосъема и усложнению контактной подвески. Для каждой марки провода или троса в нормативных документах указана длительно допустимая температура, кратковременная допустимая температура длительно — не более 3 мин и кратковременно допустимая температура длительно — 1 мин, которую провод может выдержать без ухудшения механических свойств. Температура нагрева контактной подвески при наибольшей температуре воздуха и максимальных токовых нагрузках не должна превышать значений, приведенных в табл. 3 [3].

Таблица 3

Допустимая температура нагрева контактного провода

Тип провода	Контактный провод
Марка провода	МФ-100, М-120
Длительно допустимая температура 20 и более мин, °С	95
Кратковременно допустимая температура 3 мин, °С	120
Кратковременно допустимая температура 1 мин, °С	140

Нагрев проводов контактной подвески определяется выделением джоулева тепла при прохождении тягового тока, а также при воздействии солнечного излучения. Охлаждение составляющих компонентов тяговой сети происходит за счет кондуктивной, конвективной теплопередачи и излучением. Таким образом, задача теплового расчета контактной сети сводится к определению зависимости температуры проводов от времени при всех заданных исходных данных и сравнению их с допустимыми значениями. Сложность задачи теплового расчета контактной сети связана с тем, что многие исходные параметры распределены во времени и в пространстве неравномерно: ток, условия окружающей среды и прочее [4].

Для анализа тепловых процессов при протекании тягового тока следует рассмотреть два случая нагрева провода, описываемых различными моделями: непосредственно прохождения тягового тока по проводу и током с контактного провода тягового тока пантографом электропоезда. Первый случай можно описать с помощью математической модели, составленной для единицы длины провода. Данная модель имеет допущение, что температура по сечению провода распределена равномерно. При этом провод можно считать одномерным объектом, температура которого меняется только по длине и во времени  $T = T(t, x)$ . Выделение тепла от трения в области соприкосновения контактного провода и пантографа электроподвижного состава и охлаждение за счет излучения в данной модели не учитывались, так как эти факторы не влияют на результаты моделирования.

Таким образом, задача определения температуры контактного провода сводится к построению двухмерной модели с заданием граничных условий. Распространение тепла в воздухе описывается уравнением теплового баланса в нестационарной форме [5]

$$\rho \cdot c \cdot \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot (-\lambda \cdot \nabla T) = Q, \quad (4)$$

где  $\rho$  — плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $c$  — теплоемкость, Дж/(кг·К);  $\lambda$  — теплопроводность, Вт/(м·К);  $Q$  — источник тепла, Вт.

Источником тепла в контактном проводе является резистивный нагрев  $Q_{Me}$ , Вт/м<sup>3</sup>.

$$Q_{Me} = j^2 \cdot r, \quad (5)$$

где  $j$  — плотность тока, А/мм<sup>2</sup>;  $r$  — удельное электрическое сопротивление материала, Ом·м.

По всей поверхности провода задано граничное условие, соответствующее конвективному охлаждению с заданным коэффициентом  $h$  [5]:

$$h = \frac{n \cdot (\lambda \cdot \nabla T)}{(T - T_{air})}, \quad (6)$$

где  $n$  — нормальный единичный вектор к поверхности;  $T$  — температура провода, К;  $T_{air}$  — температура воздуха, К;  $h$  — коэффициент конвективной теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Значение  $h$ , служащее для определения оценки охлаждения поверхности, определяется из значений поверхностной плотности нормального потока тепла (закон Ньютона — Рихмана):

$$q = -k \nabla T. \quad (7)$$

## Результаты моделирования

Рассматриваемая модель создана в программном комплексе *Comsol MultiPhysics 5.2*. В модели описывается требуемая геометрия: вся расчетная область представляет собой прямоугольник, размеры которого много больше размеров поперечного сечения провода, расположенного внутри расчетной области. В качестве начальных значений задаются граничные условия рассматриваемой области: начальная температура контактного провода (303 К = 30 °С), температура воздуха (293 К = 20 °С). Расчетное значение тягового тока 500 А, протекающего длительно 10 минут.

На левой, правой и нижней границах расчетной области задается условие «скорость притока-оттока», определяющее заданное значение вектора (в данном случае охлаждение осуществляется путем естественной конвекции, поэтому скорость на границах расчетной области принимается равной 0). Далее генерируется сетка (рис. 1).

По истечении 10 мин протекания тока значением 500 А температура в контактном проводе достигает значений 82 °С (рис. 2). Из рисунка видно распределение температуры в контактном проводе (оно является равномерным в поперечном сечении). Поскольку охлаждение провода происходит лишь с помощью естественной конвекции, то кондуктивный поток тепла распределен симметрично по сечению контактного провода.

## Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

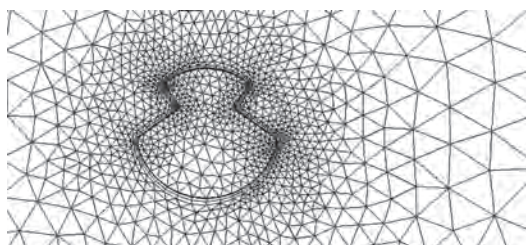


Рис. 1. Построение сетки для рассматриваемой модели

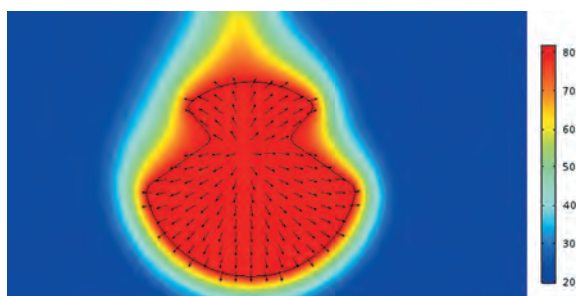


Рис. 2. Результат моделирования нагрева контактного провода МФ-100 в момент времени  $t = 10$  мин. Цветом обозначена эпюра температуры  $T$ , стрелками — кондуктивный поток тепла

На рис. 3 показан график изменения температуры с течением времени. Из данного графика можно получить значение температуры контактного провода в любой момент времени для заданного промежутка. Температура контактного провода при протекании по нему тока значением в 500 А изменяется практически линейно, начиная от начальных значений температуры контактного провода ( $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), достигая максимального значения  $82\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что является допустимым значением для данного типа контактного провода [3].

Как видно из рис. 4, кондуктивный поток достигает максимальных значений теплового потока через границу провода на выступы профиля поперечного сечения контактного провода. Тепловой поток направлен нормально к поверхности контактного провода.

Оценка охлаждения поверхности контактного провода производится при помощи коэффициента конвективной теплоотдачи  $h$ .

На рис. 5 показан график распределения коэффициента конвективной теплоотдачи  $h$  по периметру провода в различные моменты времени ( $t = 0,5$  мин,  $t = 5$  мин,  $t = 10$  мин).

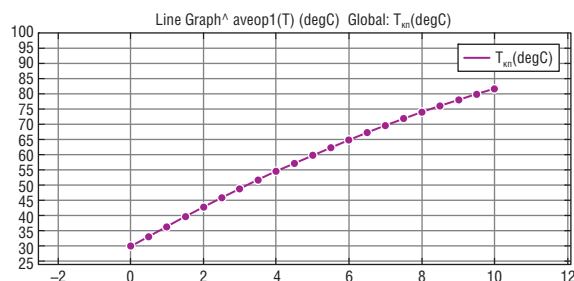


Рис. 3. График зависимости температуры от времени в контактном проводе при протекании тока в 500 А

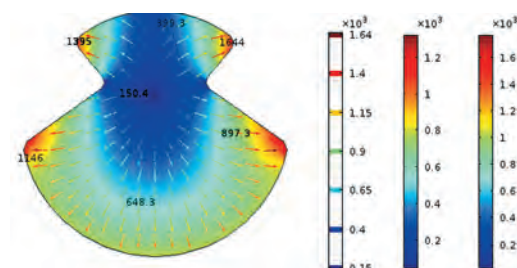


Рис. 4. Результат расчета кондуктивного потока тепла в контактном проводе МФ-100 в момент времени  $t = 10$  мин.

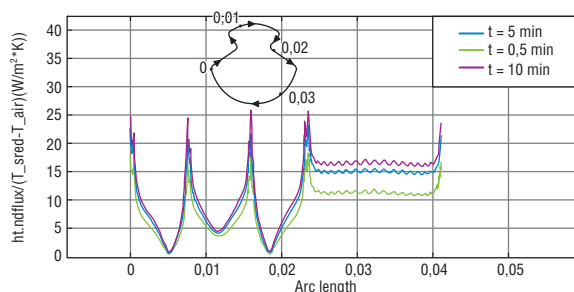


Рис. 5. Распределение коэффициента конвективной теплоотдачи по периметру данной границы в различные моменты времени

Данный график будет идентичен и для распределения по поверхности контактного провода теплового потока (с разницей в масштабе, равной разнице температур контактного провода и окружающей среды). Коэффициент теплоотдачи в большей степени зависит от скорости движения среды и ее температуры [5]. Если сравнить графики (рис. 5), то можно убедиться, что даже при разнице температур в десятки градусов коэффициент теплообмена практически не изменяет своего значения по всей границе провода. **ИТ**

## Список литературы

1. Григорьев В. Л., Игнатьев В. В. Тепловые процессы в устройствах тягового электроснабжения. — М. : УМЦ, 2007. — 182 с.
2. Марквардт К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог : уч. для вузов ж.-д. транспорта. — М. : Транспорт, 1982. — 528 с.
3. Правила устройства и технической эксплуатации контактной сети электрифицированных железных дорог. ЦЭ-868. — М. : Трансиздат, 2001. — 184 с.
4. Паранин А. В., Ефимов А. В., Ефимов Д. А. Моделирование чистого контакта между контактным проводом и токосъемной пластиной в статике методом конечных элементов // Известия Транссиба. — Омск, 2014. — 131 с.
5. Лыков А. В. Теория теплопроводности [Текст]. — М. : Наука, 1967.
6. Паранин А. В., Леонов А. Г. Расчет тепловых характеристик и допустимых токов на лимитированном перегоне // Инновационный транспорт. — 2016. — № 2 (20). — С. 62–66. — ISSN 2311–164X.





Евгений Валерьевич  
Федоров

Evgeny V. Fedorov



Константин Николаевич  
Яковлев

Konstantin N. Yakovlev

## Компьютерное моделирование аэродинамических качеств высокоскоростного подвижного состава

### Computer modeling of aerodynamic qualities of a high-speed rolling stock

#### Аннотация

В статье рассмотрены особенности аэродинамических характеристик высокоскоростного подвижного состава, полученные методом компьютерного моделирования. Приведены виды аэродинамического сопротивления высокоскоростного электропоезда и особенности его расчета.

**Ключевые слова:** высокоскоростной подвижной состав, аэродинамические характеристики, компьютерное моделирование, сопротивление движению, коэффициент лобового сопротивления, закон Бернулли.

#### Abstract

The features of aerodynamic characteristics of a high-speed rolling stock, received by a computer simulation method are considered in this article. The types of aerodynamic resistance of a high-speed electric train and the features of its calculation are given.

**Keywords:** high-speed rolling stock, aerodynamic characteristics, computer simulation, resistance to movement, the coefficient of frontal resistance, Bernoulli's law.

DOI:10.20291/2311-164X-2017-3-53-56

#### Авторы Authors

*Евгений Валерьевич Федоров, старший преподаватель кафедры «Электрическая тяга» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург, e-mail: fedorov335@yandex.ru | Константин Николаевич Яковлев, студент кафедры «Электрическая тяга» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург, e-mail: Kostya\_13\_10@mail.ru*

*Evgeny Valerievich Fedorov, Senior Lecturer of the Department of Electric Traction of the Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, e-mail: fedorov335@yandex.ru | Konstantin Nikolayevich Yakovlev, student of the Department of Electric Traction of the Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, e-mail: Kostya\_13\_10@mail.ru*

При высоких скоростях движения железнодорожного транспорта сопротивление окружающей среды играет главенствующую роль. Данный вид сопротивления еще называют аэродинамическим сопротивлением [1]. В сравнении с аэродинамикой самолетов отличительной чертой аэродинамики поездов является то, что движение осуществляется вблизи неподвижной земли.

К показателям внешней аэродинамики поезда относятся скорость движения поезда, его составность, степень аэродинамического совершенства конструкции кузова электропоезда, условия движения, состояние и величина внешних и внутренних аэродинамических связей в поезде, а также инфраструктура железной дороги, расположенной вблизи пути. С увеличением скорости движения аэродинамическое сопротивление возрастает в большей пропорции, нежели сопротивление в узлах и механизмах состава. Это, в свою очередь, ведет к росту затрат электроэнергии на преодоление сил сопротивления [3].

Анализ аэродинамических качеств высокоскоростного электропоезда можно проводить с помощью аэродинамической трубы. Для этого эксперимента создают уменьшенную модель электропоезда и помещают ее в аэродинамическую трубу со встречным потоком воздуха. Таким образом происходит моделирование воздействия окружающей среды на движущийся в ней электропоезд. Мир технологий не стоит на месте, и на смену данному методу пришел метод компьютерного моделирования. Этот метод является менее затратным по времени, а также может более точно описать поведение потоков воздуха при обтекании кузова.

Для анализа аэродинамики высокоскоростного электропоезда путем компьютерного моделирования построена трехмерная 3D-модель, представленная на рис. 1.

Форма вагона имеет довольно сложную конфигурацию, и поэтому

для определения зон ускорений и замедлений воздушного потока была проведена симуляция движения головного вагона при скорости 400 км/ч. Моделирование проводилось для анализа лобового сопротивления одного головного вагона. Процесс обтекания поезда лучше проводить при его полной

составности, но этот вариант моделирования процесса движения осуществить трудно в связи с ограниченной мощностью ПК. По той же причине на расчетных моделях элементы тележки и колесных пар выполнены в упрощенном виде. Результаты моделирования представлены на рис. 2 и 3.

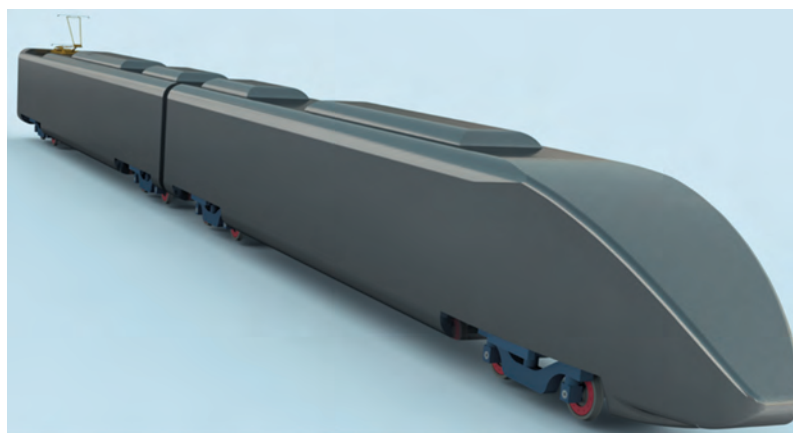


Рис. 1. Модель высокоскоростного электропоезда

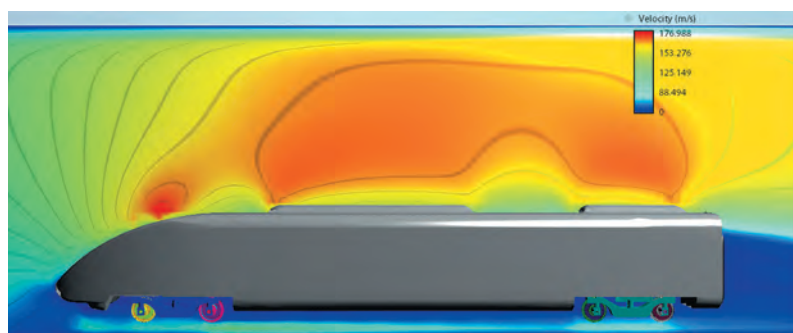


Рис. 2. Распределение скоростей воздушного потока (вид сбоку)

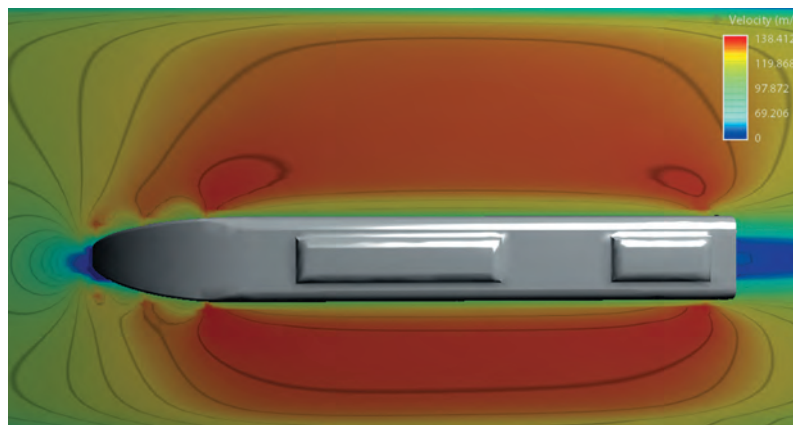


Рис. 3. Распределение скоростей воздушного потока (вид сверху)

Из рисунков видно, что поток воздуха формирует слои частиц с различными скоростями движения. Путьчиститель создает значительное сопротивление движению из-за своей формы и функционального предназначения. Нижняя грань рассекает встречный поток, и тем самым часть потока ускоряется в сторону пути, а часть замедляется, направляясь вверх к нижней части кузова. Ускорение потока воздуха может спровоцировать поднятие фракций щебня с пути, что приведет к повреждениям механической части электропоезда.

Встречный воздушный поток воздействует на кузов электропоезда и его конструктивные элементы, создавая области повышенного давления. Наибольшее влияние силы сопротивления оказывают на носовую часть головного вагона и на выступающие элементы конструкции кузова и тележки.

Распределение зон давления представлено на рис. 4 и 5.

Как видно из рис. 2 и 4, при движении электропоезда рассекает встречно направленный поток, который, проходя по крыше, движется гораздо быстрее, чем воздушный поток, приходящий снизу вагона, в промежутке между днищем поезда и поверхностью пути. При этом вступает в действие закон Бернулли:

$$\frac{\rho \cdot v^2}{2} + p = \text{const}, \quad (1)$$

где  $\rho$  — плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $v$  — скорость потока, м/с;  $p$  — давление в точке пространства, где расположен центр массы элемента жидкости, Па.

Из формулы (1) видно, что при увеличении скорости давление уменьшается. Из-за этого в верхней части вагона создается область пониженного давления (так как в этой области скорость воздуха выше), а под поездом создается область повышенного давления (так как скорость воздуха меньше). Таким обра-

зом, при высоких скоростях движения электропоезда начинает возникать подъемная сила, которая, в свою очередь, уменьшает нагрузку на каждую ось. Из-за этого уменьшается сила нажатия колеса на рельс и, как следствие, начинает уменьшаться коэффициент сцепления колеса с рельсом. Данная характеристика может привести к срыву сцепления, и появляется возможность начала процесса боксования. Распределение подъемной силы не является равномерным по всей длине состава, т.е. в голове поезда она имеет большее значение, нежели в середине состава [4].

Аналогичную картину можно увидеть на рис. 3 и 5. Под поездом создается область пониженного давления, а снаружи область повышенного давления, поэтому для безопасности необходимо держаться на расстоянии от электропоезда, проезжающего на высокой скорости, так как из-за разности давлений человека, стоящего недалеко от проезжающего поезда, может просто затянуть под подвижной состав.

Процесс образования лобового сопротивления происходит следующим образом. Когда электропоезд движется в воздушной среде, то в его носовой части происходит сжатие набегающего потока воздуха, вследствие чего в этой области образуется зона повышенного давления. Под влиянием сжатия поток воздуха устремляется к задней части поезда, скользя по его поверхности. При этом струи воздуха могут отрываться от огибаемой ими поверхности и создавать завихрения.

Величина лобового сопротивления определяется по формуле

$$F = c_x \frac{\rho v^2}{2} S, \quad (2)$$

где  $v$  — скорость движения, м/с;  $\rho$  — плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $S$  — площадь поперечного сечения головного или хвостового вагона;  $c_x$  — коэффициент, учитывающий влияние формы носовой или хвостовой поверхности [2].



Рис. 4. Распределение зон давления воздушного потока (вид сбоку)



Рис. 5. Распределение зон давления воздушного потока (вид сверху)

Коэффициент аэродинамического сопротивления  $c_x$  — безразмерная величина, определяющаяся экспериментально либо компьютерным моделированием. Это основная величина, которая описывает аэродинамическое совершенство кузова. Методом моделирования можно определить величину коэффициента  $c_x$  для любых единиц подвижного состава как при одиночном их следовании, так и в составе поезда. Чем меньше коэффициент  $c_x$ , тем лучше проработана аэродинамика тела.

На рис. 6 представлен результат расчета коэффициента аэродинамического сопротивления рассматриваемой модели электропоезда, который составил 0,34.

Зная величину коэффициента лобового сопротивления, можно построить зависимости аэродинамического сопротивления от скорости движения. График для расчетной модели электропоезда представлен на рис. 7.

Таким образом, при высоких скоростях движения необходимо уделять большое внимание аэродинамике поездов, так как она влияет и на энергопотребление, и на безо-

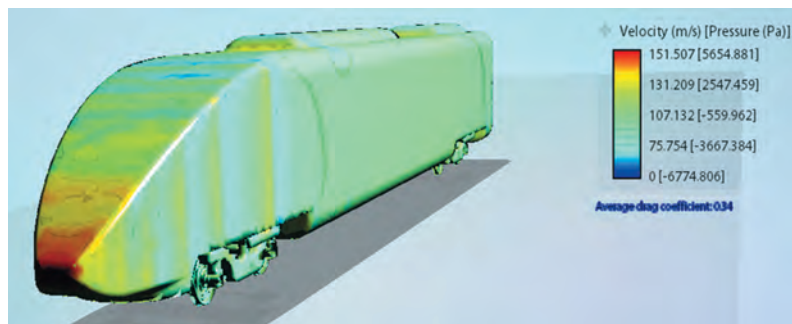


Рис. 6. Результат расчета коэффициента аэродинамического сопротивления модели электропоезда

пасность движения. Элементы конструкции высокоскоростного подвижного состава претерпевают большие нагрузки со стороны встречного воздушного потока, тормозя при этом поезд. Улучшение аэродинамики высокоскоростного электропоезда ведет к снижению затрат электроэнергии на преодоление сил сопротивления.

С помощью современных средств компьютерного моделирования можно выполнять анализ функционирования конструкций и получать результаты, близкие к эксплуатационным данным [5]. И затем на основе полученных результатов можно мо-

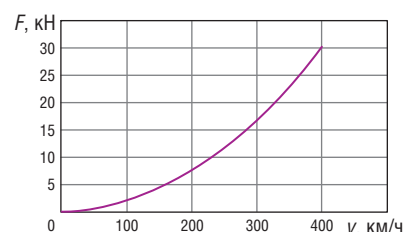


Рис. 7. График зависимости аэродинамического сопротивления от скорости движения

дифицировать проект вновь создаваемых единиц высокоскоростного подвижного состава с целью повышения его качества и обеспечения для него конкурентных преимуществ. **ИТ**

## Список литературы

1. Высокоскоростной железнодорожный транспорт. Общий курс : учеб. пособие в 2 т. Т. 2 / И. П. Кисилев и др.; под ред. И. П. Кисилева — М. : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. — 308 с.
2. Высокоскоростной железнодорожный подвижной состав для ВСМ. Технические требования / РЖД, ВНИИЖТ, ВНИИЖГ, НИИАС, ВНИКТИ, Проект Транспорт. — 2015. — 254 с.
3. Кузьмич В. Д., Руднев В. С., Френкель С. Я. Теория локомотивной тяги : учебник для вузов ж.-д. транспорта / под ред. В. Д. Кузьмича. — М. : Издательство «Маршрут», 2005. — 448 с.
4. Ореллано А., Кирхоф Р. Оптимизация аэродинамики высокоскоростных поездов // Железные дороги мира. — 2011. — № 9. — С. 42–46.
5. Чурков Н. А. Принципы конструирования подвижного состава, минимизирующие воздействия воздушной среды на параметры его основных подсистем : автореф. дис.... канд. техн. наук. / ПГУПС. — СПб., 1998. — 442 с.





Евгений Валерьевич  
Федоров

Evgeny V. Fedorov



Константин Николаевич  
Яковлев

Konstantin N. Yakovlev

## Анализ эффективности работы аэродинамического тормоза

### Analysis of the efficiency of the aerodynamic brake

#### Аннотация

В статье рассмотрены особенности работы аэродинамического тормоза высокоскоростного подвижного состава, рассчитана сила лобового сопротивления модели кузова электропоезда при работающем тормозе и произведена оценка эффективности указанного тормоза.

**Ключевые слова:** безопасность движения, аэродинамические тормоза, сопротивление движению, компьютерное моделирование, тормозная эффективность.

#### Abstract

The features of work of aerodynamic brake of a high-speed rolling stock are considered in the article, the force of frontal resistance of a model's body of an electric train is calculated at the working brake and the efficiency of the specified brake is estimated.

**Keywords:** traffic safety; aerodynamic brakes; resistance to movement; computer modeling, braking efficiency.

DOI:10.20291/2311-164X-2017-3-57-59

#### Авторы Authors

*Евгений Валерьевич Федоров, старший преподаватель кафедры «Электрическая тяга» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург, e-mail: fedorov335@yandex.ru | Константин Николаевич Яковлев, студент кафедры «Электрическая тяга» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург, e-mail: Kostya\_13\_10@mail.ru*

*Evgeny Valerievich Fedorov, Senior Lecturer of the Department of Electric Traction of the Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, e-mail: fedorov335@yandex.ru | Konstantin Nikolayevich Yakovlev, student of the Department of Electric Traction of the Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, e-mail: Kostya\_13\_10@mail.ru*

При движении электропоезда на больших скоростях использовать колодочные фрикционно-механические тормоза не рационально. Они создают тормозные силы трения непосредственно на специальных дисках (барабанах), жестко установленных на осях колесных пар. Такие тормоза представляют собой замкнутую механическую систему (т.е. колеса и тормозные колодки принадлежат к одной и той же несущей конструкции и не связаны с внешней неподвижной средой), и если заблокировать (заклинить колесные пары) колеса тормозами, то при непогашенной кинетической энергии подвижного состава колеса будут скользить юзом по рельсам (что при нормальной эксплуатации недопустимо), а подвижной состав не остановят [1]. Поэтому такой фрикционно-механический тормоз уже не может полностью удовлетворять требованиям высокоскоростных подвижных составов на железнодорожном транспорте и может быть использован только в качестве вспомогательного средства торможения [2]. Основным видом торможения при высоких скоростях движения является электрическое торможение, которое подразумевает переход тяговых двигателей в генераторный режим работы. Кроме указанных видов тормозных систем для высокоскоростного подвижного состава возможно использование аэродинамического тормоза, который непосредственно взаимодействует с окружающей воздушной средой. В качестве такого тормоза могут выступать лопатки, которые на больших скоростях создают значительное сопротивление движению поезда, что, в свою очередь, приводит к уменьшению скорости. Впервые такие тормоза были применены в Японии на высокоскоростных электропоездах модели Fastech 360 [2]. Фотография данного поезда представлена на рис. 1.

Для анализа такого тормоза была построена 3D-модель головного вагона высокоскоростного электропоезда с аэродинамическим тормозом, представленная на рис. 2.

Величину лобового аэродинамического сопротивления движению поезда можно определить по формуле

$$F = c_x \frac{\rho v^2}{2} S, \quad (1)$$

где  $v$  — скорость движения состава, м/с;  $\rho$  — плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $S$  — площадь поперечного сечения головного вагона;  $c_x$  — коэффициент, учитывающий влияние формы поверхности [4].

Коэффициент аэродинамического сопротивления  $c_x$  описывает аэродинамическое совершенство кузова. Коэффициент определяется экспериментально либо компьютерным моделированием.

Для расчета эффективности аэродинамического тормоза с помощью компьютерного моделирования необходимо определить коэффициент аэродинамического сопротивления и площадь поперечного сечения голов-

ного вагона с работающим аэродинамическим тормозом и без него. Результат компьютерного расчета коэффициента сопротивления и распределения давления по поверхности состава при работающем тормозе представлен на рис. 3.



Рис. 1. Высокоскоростной электропоезд с аэродинамическим тормозом

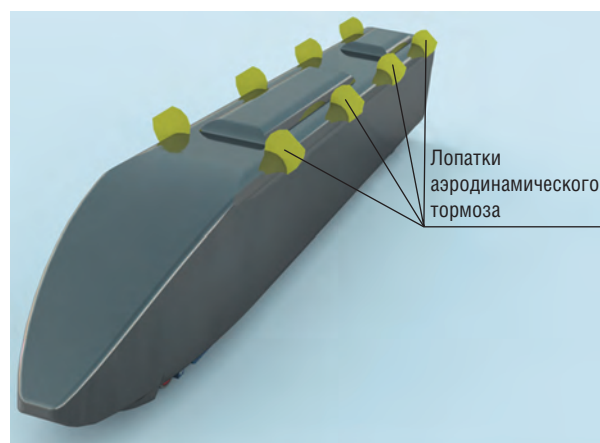


Рис. 2. Модель головного вагона высокоскоростного электропоезда с аэродинамическим тормозом

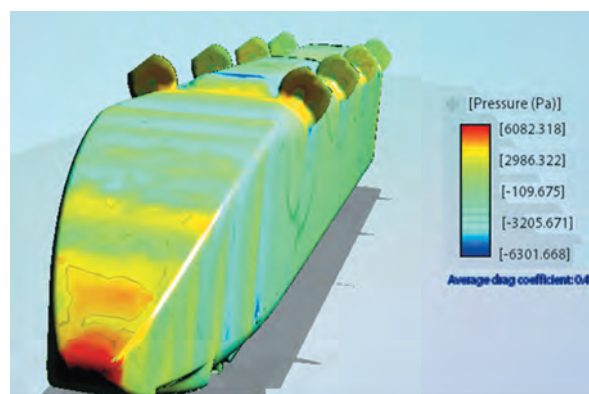


Рис. 3. Результат компьютерного моделирования

Благодаря тормозным лопаткам на электропоезде удалось увеличить площадь поперечного сечения вагона и коэффициент аэродинамического сопротивления. Следовательно, исходя из формулы (1), при увеличении данных параметров увеличивается сила сопротивления, препятствующая движению электропоезда, благодаря чему происходит торможение. Кроме того, видно, что при высоких скоростях движения на лопатки действует большая сила от встречного воздушного потока, что требует от них высокой прочности [3].

Для сравнения двух моделей электропоездов (с работающим аэродинамическим тормозом и без него) на одной координатной плоскости построим два графика зависимостей аэродинамического сопротивления от скорости. Данные графики представлены на рис. 4.

Из данного графика видно, что аэродинамический тормоз не рационально применять на скоростях до 200–250 км/ч. До указанных скоростей аэродинамическое сопротивление движению поезда с тормозом пример-

но равно аэродинамическому сопротивлению движению поезда в отсутствии тормоза, поэтому эффективность аэродинамического тормоза на низких скоростях очень мала. **ИТ**

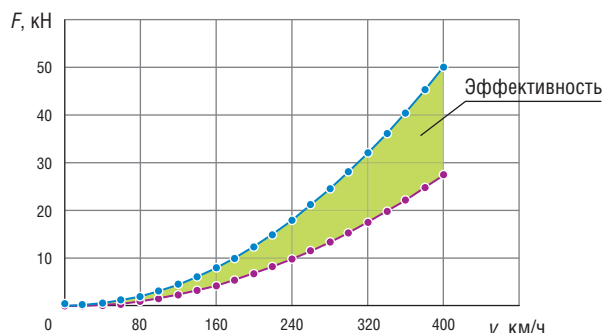


Рис. 4. График зависимости аэродинамического сопротивления от скорости движения:  
 — модель без аэродинамического тормоза;  
 — модель с аэродинамическим тормозом

## Список литературы

1. Высокоскоростной железнодорожный транспорт. Общий курс : учеб. пособие в 2 т. Т. 1 / И. П. Кисилев и др.; под ред. И. П. Кисилева — М. : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. — 372 с.
2. Высокоскоростной железнодорожный транспорт. Общий курс : учеб. пособие в 2 т. Т. 2 / И. П. Кисилев и др.; под ред. И. П. Кисилева — М. : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. — 308 с.
3. Высокоскоростной железнодорожный подвижной состав для ВСМ. Технические требования / РЖД, ВНИИЖТ, ВНИИЖГ, НИИАС, ВНИКТИ, Проект Транспорт. — 2015. — 254 с.
4. Чурков Н. А. Принципы конструирования подвижного состава, минимизирующие воздействия воздушной среды на параметры его основных подсистем : автореф. дис. ... канд. техн. наук. / ПГУПС. — СПб., 1998. — 442 с.



Дмитрий Валентинович  
Лесников

Dmitry V. Lesnikov



Анатолий Александрович  
Пышкин

Anatoliy A. Pyshkin

## К оценке надежности уровня напряжения в тяговой сети постоянного тока

### To estimation of the voltage level reliability in a direct current traction network

#### Аннотация

В статье на основе бета-распределения представлена методика определения надежности уровня напряжения в тяговой сети постоянного тока на лимитирующем перегоне, который ограничивает действительную пропускную способность участка по устройствам электроснабжения.

Исходя из найденной надежности уровня напряжения в тяговой сети, можно прогнозировать выполнение графиков скоростей движения на исследуемом участке железной дороги.

**Ключевые слова:** надежность уровня напряжения в тяговой сети, лимитирующий перегон, бета-распределение, дисперсия, математическое ожидание напряжения, пределы зоны нечувствительности реле напряжения, уровень стабилизации напряжения на подстанции.

#### Abstract

The methodology of the definition of voltage level reliability in a direct current traction network at limiting stage, which restricts the actual carrying capacity of a district in power supply devices, is represented on the basis of beta-distribution. In terms of founded voltage level reliability in a direct current traction network we can predict completing graphics speed at the study site of the railway.

**Keywords:** voltage level reliability in a direct current traction network, limiting stage, beta-distribution, dispersion, mathematical expectation of voltage, dead band limits of voltage relay, level of voltage stabilization at substation.

DOI:10.20291/2311-164X-2017-3-60-64

#### Авторы Authors

Дмитрий Валентинович Лесников, ассистент кафедры «Электроснабжение транспорта» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | Анатолий Александрович Пышкин, канд. техн. наук, профессор кафедры «Электроснабжение транспорта» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

Dmitry Valentinovich Lesnikov, assistant of the department of Transport power supply of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg | Anatoliy Aleksandrovich Pyshkin, PhD in Engineering, Professor, Transport Power Supply Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg



Основным критерием качества напряжения в тяговой сети электрических железных дорог является среднее значение и среднеквадратичное отклонение напряжения за время хода под током на автоматической характеристике на лимитирующем перегоне или блоку участке, наиболее удаленном от подстанции и определяющем минимальный интервал попутного следования и пропускную способность. Более полной характеристикой напряжения на токоприемнике будет функция распределения вышеуказанных усредненных значений напряжения. Подобный подход к оценке качества напряжения позволяет более тщательно и дифференцированно определять режим напряжения на линиях с различными размерами движения, а также делать количественные оценки вероятности обеспечения поездов напряжением заданного уровня.

Под надежностью уровня напряжения в тяговой сети в дальнейшем будем понимать вероятность того, что напряжение на токоприемнике электровазона, следующего по лимитирующему перегону, будет не ниже заданного уровня.

Расчет будем вести в предположении, что выпрямленное напряжение холостого хода  $U_0$  постоянно по величине, считая таким образом, что рассматриваемая тяговая подстанция питается от достаточно мощной энергосистемы.

Для рассмотрения возьмем двухпутный участок с двусторонним раздельным питанием контактной сети. Тогда средний уровень напряжения на токоприемнике электровазона за время хода под током по автоматической характеристике по лимитирующему перегону « $i$ » найдется из следующего выражения:

$$U_i = U_0 - \Delta U_{ni} - \Delta U_i, \quad (1)$$

где  $\Delta U_{ni}$  — средняя потеря напряжения в эквивалентном сопротивлении подстанции, отнесенная к  $i$ -му перегону;  $\Delta U_i$  — средняя потеря напряжения в тяговой сети до токоприемника поезда, находящегося на перегоне « $i$ ».

Среднюю потерю напряжения на подстанции (рис. 1) представим в виде суммы составляющих, вызванных нагрузками расчетного и сопутствующих поездов.

Следует заметить, что в общем случае потери напряжения на подстанциях « $x$ » и « $x+1$ » не одинаковы. Тогда из рис. 1 получим потерю напряжения на подстанциях, отнесенную к  $i$ -му перегону.

При  $\Delta U_x < \Delta U_{x+1}$ :

$$\Delta U_{ni} = \Delta U_x + (\Delta U_{x+1} - \Delta U_x) \cdot \frac{l_{0i}}{l}. \quad (2)$$

При  $\Delta U_x > \Delta U_{x+1}$ :

$$\begin{aligned} \Delta U_{ni} &= \Delta U_{x+1} + (\Delta U_x - \Delta U_{x+1}) \cdot \frac{l - l_{0i}}{l} = \\ &= \Delta U_x \cdot \left(1 - \frac{l_{0i}}{l}\right) + \Delta U_{x+1} \cdot \frac{l_{0i}}{l}. \end{aligned} \quad (3)$$

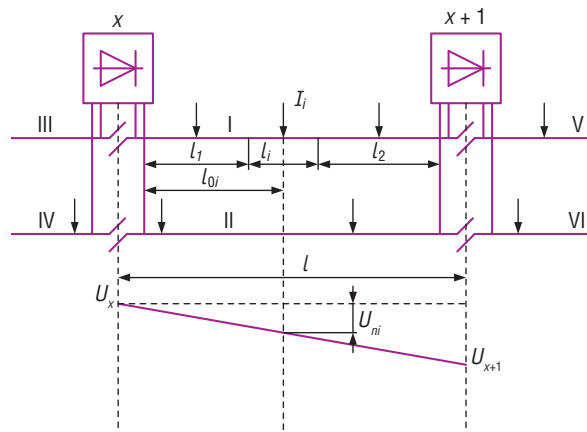


Рис. 1. Расчетная схема:

$l_1, l_2$  — длина участка на межподстанционной зоне, на которой могут находиться сопутствующие поезда, расположенные соответственно слева и справа от расчетного перегона

В частном случае, когда  $\Delta U_x = \Delta U_{x+1}$ :

$$\Delta U_{ni} = \Delta U_x = \Delta U_{x+1}. \quad (4)$$

Методика определения составляющих, входящих в выражение (1), достаточно подробно разработана. В окончательном виде выражение (1) с учетом (2)–(4) будет иметь вид [1]:

$$\Delta U_{ni} = \zeta \left\{ I_{im} \left[ 1 - \frac{2l_{0i}}{l} \left( 1 - \frac{l_{0i}}{l} \right) + \right. \right. \\ \left. \left. + I_1 \frac{(m_1 - 1)}{(l_1 + l_2)} \left[ l_i - \frac{l_1 - l_2}{l} \left[ l_{0i} \left( 1 - \frac{l_1 + l_2}{l} \right) \right] \right] \right] + \right. \\ \left. \left. + I_{II} \frac{m_{II}}{2} + \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{l_{0i}}{l} \right) \sum_{K=III}^{IV} I_K m_K + \frac{1}{2} \frac{l_{0i}}{l} \sum_{K=III}^{IV} I_K m_K \right\}, \quad (5)$$

где  $I_{im}$  — средний ток поезда за время хода по автоматической характеристике по перегону « $i$ »;  $\zeta$  — эквивалентное сопротивление тяговой подстанции;  $I_1, I_{II}, I_K$  — ток средневзвешенного поезда соответственно на I, II, K-й межподстанционной зоне;  $m_1, m_{II}, m_K$  — среднее число поездов, одновременно находящихся соответственно на I, II, K-й межподстанционной зоне;  $l$  — длина межподстанционной зоны;  $l_{0i}$  — расстояние от подстанции до середины перегона, на котором находится поезд.

$$\Delta U_{ni} = \Delta U'_{ni} + \Delta U_{ni}^c + \Delta U_{ni}^{II} + \Delta U_{ni}^{III} + \Delta U_{ni}^{IV}, \quad (6)$$

где  $\Delta U'_{ni}$  — потеря напряжения в эквивалентном сопротивлении подстанции, вызванная током расчетного поезда, находящегося на перегоне « $i$ »;  $\Delta U_{ni}^A$  — потеря напряжения на подстанции, вызванная токами сопутствующих поездов, находящихся на том же пути той же межподстанционной зоны, что и расчетный поезд;  $\Delta U_{ni}^{II}$  —

потеря напряжения на подстанции, вызванная токами поездов, расположенных на другом пути той же межподстанционной зоны;  $\Delta U_{ni}^{III}$ ,  $\Delta U_{ni}^{IV}$  — потеря напряжения на подстанции, вызванная токами поездов, находящихся соответственно на III, IV и V, VI зонах питания.

Среднюю потерю напряжения в тяговой сети до поезда на перегоне « $i$ » можно представить в виде

$$\Delta U_i = \Delta U_i' + \Delta U_i^c, \quad (7)$$

где  $\Delta U_i'$  — потеря напряжения от нагрузки до рассматриваемого поезда;  $\Delta U_i^A$  — потеря напряжения до рассматриваемого поезда, вызванная нагрузками других поездов.

Величина  $\Delta U_i'$  в выражении (7) не случайна. Поэтому случайной величиной далее будем рассматривать второе слагаемое  $\Delta U_i^A$ .

Среднее значение  $\Delta U_i^A$  найдется из следующего выражения [2]:

$$\Delta U_i^c = P \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n \Delta U_{ki}, \quad (8)$$

где  $\Delta U_{ki}$  — составляющая потери напряжения от нагрузки поезда, находящегося на перегоне « $K$ », до рассматриваемого участка;  $n$  — число условных перегонов на межподстанционной зоне;  $P$  — вероятность того, что на перегоне « $K$ » будет находиться поезд:

$$P = \frac{N}{N_0}, \quad (9)$$

где  $N$  — размеры движения за расчетный период;  $N_0$  — пропускная способность участка.

Или в обозначении рис. 1 для случая однотипных поездов:

$$\Delta U_i^c = \frac{r_i \cdot I_1 \cdot N(n-1)}{2N_0} \left( \frac{l_1^2}{l_1 + l_2} - l_{0i} \frac{l_1 - l_2}{l} \right), \quad (10)$$

где  $r_i$  — километровое сопротивление тяговой сети первого пути.

Потеря напряжения от нагрузки рассматриваемого поезда:

$$\Delta U_i' = r_i \cdot I_{im} l_{0i} \left( 1 - \frac{l_{0i}}{l} \right). \quad (11)$$

Максимальную потерю напряжения в тяговой сети до поезда на перегоне « $i$ » получим при  $P = 1$ :

$$\Delta U_{imax} = \Delta U_i' + \frac{r_i \cdot I_1(n-1)}{2} \left( \frac{l_1^2}{l_1 + l_2} - l_{0i} \frac{l_1 - l_2}{l} \right). \quad (12)$$

Для определения дисперсии среднего значения напряжения на токоприемнике  $U_i$ , допуская независимость величин  $\Delta U_{ni}$  и  $\Delta U_i$ , воспользуемся формулой [3]

$$\sigma_{ui}^2 = \sigma_{U_{ni}}^2 + \sigma_{\Delta U_i}^2, \quad (13)$$

где  $\sigma_{ui}^2$  — дисперсия выпрямленного напряжения на подстанции, которую можно найти из выражения для определения функции корреляции напряжения, полагая  $\tau = 0$ ;  $\sigma_{\Delta U_i}^2$  — дисперсия потери напряжения в тяговой сети до поезда, расположенного на  $i$ -м перегоне;

$$\sigma_{ui}^2 = \sigma_{\Delta U_i'}^2 + \sigma_{\Delta U_i^c}^2, \quad (14)$$

где  $\sigma_{\Delta U_i'}^2$  — дисперсия потери напряжения, издаваемая током рассматриваемого поезда на перегоне « $i$ » за время хода под током по автоматической характеристике;  $\sigma_{\Delta U_i^c}^2$  — дисперсия потери напряжения до перегона « $i$ » от тока сопутствующих поездов.

$$\sigma_{\Delta U_i^c}^2 = 0,08 r_i^2 I_{im}^2 l_{0i}^2 \left( 1 - \frac{l_{0i}}{l} \right)^2, \quad (15)$$

$$\sigma_{\Delta U_i'}^2 = P q \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n \Delta U_{ki}^2, \quad (16)$$

где  $q$  — вероятность отсутствия поезда на перегоне « $K$ ».

В общем случае функцию распределения усредненных значений напряжения на токоприемнике можно описать обобщенной формой бета-распределения (кривыми Пирсона I типа). Дифференциальный закон такого распределения в обозначениях для напряжения имеет вид [4, 6, 7]:

$$P(U_i) = \left\{ \begin{array}{l} \frac{\Gamma(\gamma + \eta)}{\Gamma(\gamma)\Gamma(\eta)} (U_{imax} - U_{imin})^{\gamma + \eta - 1} \times \\ \times \left( \frac{U_i - U_{imin}}{U_{imax} - U_{imin}} \right)^{\gamma - 1} \left( 1 - \frac{U_i - U_{imin}}{U_{imax} - U_{imin}} \right)^{\eta - 1} \\ U_{imin} \leq U_i \leq U_{imax}, \gamma > 0, \eta > 0 \\ 0, \text{ в остальных случаях} \end{array} \right\} \quad (17)$$

или, записав в более удобной для практического использования форме:

$$P(U') = \left\{ \begin{array}{l} \frac{\Gamma(\gamma + \eta)}{\Gamma(\gamma)\Gamma(\eta)} (U')^{\gamma - 1} (1 - U')^{\eta - 1} \\ 0 \leq U' \leq 1, \gamma > 0, \eta > 0 \\ 0, \text{ в остальных случаях} \end{array} \right. \quad (18)$$

$$U' = \frac{U_i - U_{imin}}{U_{imax} - U_{imin}}, \quad (19)$$

$$\Gamma(\gamma + \eta) = \int_0^{\infty} x^{\gamma+\eta-1} \cdot e^{-x} dx, \quad (20)$$

$$\Gamma(\gamma) = \int_0^{\infty} x^{\gamma-1} \cdot e^{-x} dx, \quad (21)$$

$$\Gamma(\eta) = \int_0^{\infty} x^{\eta-1} \cdot e^{-x} dx. \quad (22)$$

В частном случае, при целых  $\gamma$  и  $\eta$ , гамма-функция найдется следующим образом:

$$\begin{aligned} \Gamma(\gamma + \eta) &= (\gamma + \eta - 1)!, \\ \Gamma(\gamma) &= (\gamma - 1)!, \\ \Gamma(\eta) &= (\eta - 1)!, \end{aligned} \quad (23)$$

где  $\gamma$ ,  $\eta$ ,  $U_{i\max}$ ,  $U_{i\min}$  — параметры закона, в зависимости от которых меняется вид функции распределения.

В рассматриваемом случае  $\gamma > 1$ ,  $\eta > 1$ . В частном случае, при  $\gamma = \eta$ , распределение является симметричным и близким к нормальному закону.

Значения  $\gamma$ ,  $\eta$  могут быть найдены по статистическом среднему  $\bar{U}$  и несмещенной оценке дисперсии  $\sigma^2$ :

$$\eta = \frac{1 - \bar{U}}{\sigma^2} [\bar{U}(1 - \bar{U}) - \sigma^2], \quad (24)$$

$$\gamma = \frac{\bar{U}\eta}{1 - \bar{U}}, \quad (25)$$

где  $\bar{U}$  и  $\sigma^2$  определяются из выражений (1), (13) и преобразуются для (16) в виде:

$$\bar{U} = \frac{U_i - U_{i\min}}{U_{i\max} - U_{i\min}}, \quad (26)$$

$$\sigma = \frac{\sigma_{U_i}}{U_{i\max} - U_{i\min}}. \quad (27)$$

Входящие в формулы (26), (27) значения минимального и максимального напряжения на токоприемнике  $U_{i\min}$  и  $U_{i\max}$  должны быть определены непосредственным расчетом для конкретных условий. В первом приближении в качестве  $U_{i\max}$  можно принять

$$U_{i\max} = U_0 - (\Delta U'_{ni} + \Delta U'_i), \quad (28)$$

где  $\Delta U'_{ni}$  определяется из выражения (3) (первое слагаемое) и  $\Delta U'_i$  из выражения (11)

$$U_{i\min} = U_0 - 2(\Delta U_{ni} + \Delta U_i), \quad (29)$$

где  $\Delta U_{ni}$  и  $\Delta U_i$  берутся для режима движения поездов при полном использовании пропускной способности.

Такая приближенная оценка  $U_{i\min}$  и  $U_{i\max}$  может быть улучшена для конкретного участка, где известны кривые потребления тока поездами.

Интегральную функцию бета-распределения, необходимую для количественной оценки надежности напряжения, можно получить из выражения (18):

$$F(U) = \begin{cases} 0, & \text{при } U' < 0 \\ \frac{\Gamma(\gamma + \eta)}{\Gamma(\gamma)\Gamma(\eta)} \int_0^U (U')^{\gamma-1} (1 - U')^{\eta-1} dU' & \\ 1, & \text{при } U' > 1. \end{cases} \quad (30)$$

Значения  $F(U)$  при различных  $\gamma$  и  $\eta$  можно найти в [4].

Продолжав расчеты по формуле (29), можно построить функцию распределения усредненных значений напряжения на токоприемнике электровоза, следующего по лимитирующему перегону. По полученной функции распределения можно определить вероятность того, что напряжение на электровозе, следующем по перегону « $i$ », будет больше номинального напряжения, и таким образом количественно оценить надежность уровня напряжения в контактной сети.

Возможен несколько иной путь решения поставленной задачи. Используя метод статистических испытаний, зная закон распределения межпоездного интервала и продолжав расчеты для каждой мгновенной схемы, получим набор значений  $U_i$  для различных поездных ситуаций. По полученным данным строится статистический ряд распределения исследуемой величины, находятся характеристики  $\bar{U}$  и  $\sigma^2$ , исходя из которых определяется выражение для аппроксимирующего распределения. Аналогичным образом, используя соответствующие формулы для определения  $\Delta U_i$  и  $\sigma_{\Delta U_i}$ , можно оценить надежность уровня напряжения для других схем питания контактной сети.

В качестве примера произведем расчет надежности уровня напряжения на пантографе электровоза, следующего по условному перегону, при отдельной схеме питания контактной сети. В расчет заложены следующие данные:

$$\begin{aligned} \zeta &= 0,0617 \text{ Ом}; r_f = 0,057 \text{ Ом/км}; \\ l &= 25 \text{ км}; l_{0i} = 12,5 \text{ км}; l_i = 7 \text{ км}; l_1 = l_2 = 9 \text{ км}; \\ n_i &= 4; N_0 = 144 \text{ п.п.}; N = 108 \text{ п.}; m_{II} = m_K = 3 \text{ п.}; \\ I_{im} &= 800 \text{ А}; I_1 = I_{II} = I = 500 \text{ А}; U_0 = 3530 \text{ В}. \end{aligned}$$

В результате расчета по формулам (1)–(13) и (28)–(30) получены следующие значения:

$$U_i = 2874 \text{ В}; \sigma_{U_i} = 142 \text{ В};$$

$$U_{i\max} = 3220 \text{ В}; U_{i\min} = 1884 \text{ В}.$$

Определив  $\gamma$  и  $\eta$  по формулам (24), (25) при условии (17), (18), получим функцию распределения напряжения:

$$P(U') = 4,83(U')^{11,85-1}(1-U')^{4,16-1}. \quad (31)$$

Определим вероятность того, что напряжение  $U_i$  будет не менее 3000 В.

$$P\{U_i \geq 3000\} = 4,83 \int_{0,835}^1 (U')^{11,85-1}(1-U')^{4,16-1} dU' = 0,24. \quad (32)$$

Таким образом, только 24 % поездов, следующих по расчетному перегону «i», будет иметь напряжение на токоприемнике электровоза более 3000 В.

График плотности вероятности напряжения на токоприемнике для представленных исходных данных приведен на рис. 2.

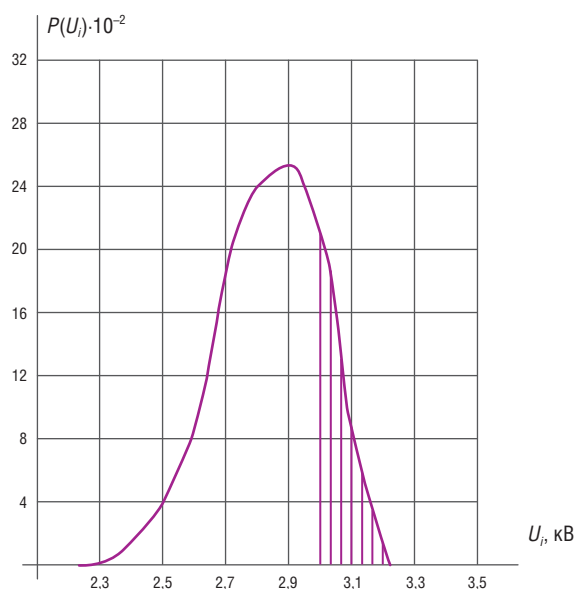


Рис. 2. График плотности вероятности напряжения на токоприемнике электровоза

Для повышения надежности уровня напряжения в контактной сети могут быть предусмотрены следующие основные технические решения:

1. Доведение сечения проводов контактной сети до экономического значения.
2. Применение регулирующих и компенсирующих устройств в системе электроснабжения.
3. При дефиците мощности — строительство дополнительных тяговых подстанций.

При ступенчатом автоматическом регулировании напряжения на тяговых подстанциях значения  $U_{i\max}$  и  $U_{i\min}$  могут быть определены из следующих выражений [5]:

$$U_{i\max} = L_2 - \Delta U'_i, \quad (33)$$

$$U_{i\min} = L_1 - 2\Delta U'_i, \quad (34)$$

где  $L_1, L_2$  — значения нижнего и верхнего предела зоны нечувствительности реле напряжения.

При плавном бесконтактном регулировании:

$$U_{i\max} = U_{\text{ст}} - \Delta U'_i, \quad (35)$$

$$U_{i\min} = U_{\text{ст}} - 2\Delta U'_i, \quad (36)$$

$$\sigma_{\Delta U_{pi}} = 0, \quad (37)$$

где  $U_{\text{стаб}}$  — выбранный уровень стабилизации напряжения на тяговых подстанциях.

Так, при  $L_1 = 3500$  В,  $L_2 = 3600$  В и выдержки времени на переключение анцапф трансформатора 1 мин для условий приведенного примера

$$P\{U_i \geq 3000\} = 0,773, \quad (38)$$

т. е. надежность уровня напряжения повысилась более чем в три раза по сравнению с надежностью напряжения в контактной сети без регулирования.

Большой интерес представляет оценка минимального значения напряжения у поезда при определенной оценке надежности выбранного уровня. Для этого, задавшись уровнем надежности, например, 0,9, нужно определить нижний предел интегрирования в выражении (32). **ИТ**

## Список литературы

1. Марквардт К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог. — М. Транспорт, 1982. — 528 с.
2. Бесков Б. А. Проектирование систем электроснабжения электрических железных дорог / Б. А. Бесков и др. — М. Трансэнергоиздат, 1963.
3. Пышкин А. А. Статистическое определение автокорреляционной функции напряжения на тяговых подстанциях постоянного тока // Труды УЭМИИТа. — Вып. 30. — Свердловск, УЭМИИТ, 1971. — 86 с.
4. Большев Л. Н., Смирнов И. В. Таблицы математической статистики. — М. : Наука, 1965. — 370 с.
5. Пышкин А. А. Надежность систем электроснабжения электрических железных дорог. — Екатеринбург : УЭМИИТ, 1993. — 120 с.
6. Галкин А. Г. Надежность и диагностика систем электроснабжения железных дорог : учеб. для вузов ж.-д. транспорта / А. В. Ефимов, А. Г. Галкин. — УМК МПС России. — М., 2000. — 510 с.
7. Тер-Оганов Э. В. Электроснабжение железных дорог : учеб. для студентов университета (УрГУПС) / Э. В. Тер-Оганов, А. А. Пышкин — Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2014. — 432 с. — ISBN 978-94614-299-7.



**Уважаемые читатели и авторы журнала «Инновационный транспорт»!**

Если вам нравится наш журнал, вы можете оказать содействие в его развитии, перечислив денежные средства по реквизитам:

Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС

ИНН-КПП 6670317893/667001001

ОГРН 1156600001470

620075, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. Шевченко, д. 20, помещение 1

Р/с 40703810863010000192

в ПАО КБ «УБРИР» филиал ССБ

к/с 30101810900000000795

БИК 046577795

**Назначение платежа:** «Пожертвование для поддержки научных журналов УрГУПС».

Ваша финансовая поддержка позволит нам увеличить число публикаций, повысить индексы цитирования журнала и наших авторов.

**Уважаемые руководители инновационных компаний и предприятий!**

Предлагаем вам услуги по продвижению вашей продукции через сеть Ассоциации выпускников УЭМИИТ-УрГУПС.

Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС — это кооперация большого числа неравнодушных людей различных сфер деятельности, окончивших наш университет.

Кроме того, предлагаем услуги по подбору молодых специалистов, по организации поиска решений прикладных и научных задач в рамках диссертационных работ, выполняемых в УрГУПС.

Всю необходимую информацию вы можете получить по тел. (343) 221-24-67 или на сайте <http://www.usurt.ru/vypusknikam/assotsiatsiya-vypusknikov-urgups>

<b>Извещение</b>	<p><b>Получатель:</b> Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС <b>КПП:</b> 667001001 <b>ИНН:</b> 6670317893 <b>ОКТМО:</b> 65701000 <b>Р/сч.:</b> 40703810863010000192 <b>в:</b> ПАО КБ «УБРИР» филиал ССБ <b>БИК:</b> 046577795 <b>К/сч.:</b> 30101810900000000795 <b>Код бюджетной классификации (КБК):</b> _____ <b>Платеж:</b> Пожертвование для поддержки научных журналов УрГУПС <b>Платательщик:</b> _____ <b>Адрес плательщика:</b> _____ <b>ИНН плательщика:</b> _____ <b>№ л/сч. плательщика:</b> _____ <b>Сумма:</b> _____ руб. ____ коп.  Подпись: _____ Дата: «____» _____ 2017 г.</p>
<b>Квитанция</b>	<p><b>Получатель:</b> Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС <b>КПП:</b> 667001001 <b>ИНН:</b> 6670317893 <b>ОКТМО:</b> 65701000 <b>Р/сч.:</b> 40703810863010000192 <b>в:</b> ПАО КБ «УБРИР» филиал ССБ <b>БИК:</b> 046577795 <b>К/сч.:</b> 30101810900000000795 <b>Код бюджетной классификации (КБК):</b> _____ <b>Платеж:</b> Пожертвование для поддержки научных журналов УрГУПС <b>Платательщик:</b> _____ <b>Адрес плательщика:</b> _____ <b>ИНН плательщика:</b> _____ <b>№ л/сч. плательщика:</b> _____ <b>Сумма:</b> _____ руб. ____ коп.  Подпись: _____ Дата: «____» _____ 2017 г.</p>

**Подписка на 2018 год.**

Подписной индекс в каталоге «Пресса России» — 85022.

Периодичность — 4 номера в год.



ф. СП-1

**АБОНЕМЕНТ**

на ~~газету~~  
журнал

**85022**

(индекс издания)

**Инновационный транспорт**

(наименование издания)

Количество  
комплектов:

на 2018 год по месяцам:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
X	X	X	X	X	X						

**Куда**

(почтовый индекс)

(адрес)

**Кому**

(фамилия, инициалы)

**ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА**

на ~~газету~~  
журнал

**85022**

(индекс издания)

**Инновационный транспорт**

(наименование издания)

Стои- мость	подписки	_____ руб. ____ коп.	Количество комплектов:	
	переадресовки	_____ руб. ____ коп.		

на 2018 год по месяцам:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
X	X	X	X	X	X						

**Куда**

(почтовый индекс)

(адрес)

**Кому**

(фамилия, инициалы)

# Технические требования и рекомендации к оформлению статей

## 1. Публикация состоит из следующих **обязательных элементов**:

- а) УДК;
- б) Ф. И. О. автора (авторов) (на русском и английском языках);
- в) название статьи (на русском и английском языках);
- г) аннотация (на русском и английском языках);
- д) ключевые слова (на русском и английском языках);
- е) текст статьи;
- ж) библиографический список;
- з) сведения об авторе (авторах): место работы (учебы), ученая степень, ученое звание, должность, почтовый адрес, телефон, e-mail (на русском и английском языках);
- и) портретное фото автора (авторов), представленное в электронном виде отдельным файлом, цветное, высокого качества, в форматах \*.jpg (от 200 Кб), \*.tif (от 1 Мб).

## 2. Материалы подготавливаются в редакторе Microsoft Office Word 2003, 2007.

## 3. Объем статьи не более 15 страниц.

## 4. Список литературы помещается в конце статьи после подзаголовка и оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003, ГОСТ 7.0.5-2008. Ссылки на литературу в тексте статьи оформляются в квадратных скобках ([3], [3, 4], [3–7]).

## 5. Требования к разметке и форматированию текста.

Поля страницы – по 2 см с каждого края. Страницы должны быть без нумерации. Текст статьи: шрифт

Times New Roman, кегль 14; межстрочный интервал полуторный; выравнивание по ширине; отступ первой строки 1,25 см; расстановка переносов автоматическая. Простые формулы и сочетания символов набираются в текстовом режиме, сложные – при помощи редактора формул Microsoft Equation или MathType и располагаются по центру страницы. Написание букв: русские и греческие буквы (а, б, в, А, Б, В; ε, ω, Ω, Σ), а также цифры и функции (1, 2, 3; I, V, XII; sin, lg, min и др.) пишутся только прямо; латинские буквы (*a, b, c, A, B, N* и пр.) – только курсивом.

**6. Рисунки и таблицы.** Таблицы должны быть снабжены заголовками, а рисунки — подписями. Расположение заголовков: слово «Таблица» — в правый край таблицы; название таблицы располагается по центру над таблицей. В рисунках (диаграммах и графиках) слово «Рис.», номер и название рисунка располагаются по центру набора под рисунком. Расположение таблиц и рисунков — после ссылки на них. Условные обозначения в рисунках и таблицах, если они есть, должны быть расшифрованы в подписи или в тексте статьи.

**Рисунки.** Цветные и черно-белые (если нет цветных) иллюстрации принимаются отдельными файлами в форматах \*.jpg (от 300 Кб), \*.tif, \*.bmp (от 2 Мб). Недопустимо использование изображений, взятых из Интернета, размером 5–100 Кб, а также отсканированных версий плохого качества.

**Диаграммы, схемы и таблицы** могут быть представлены в форматах MS Excel, MS Visio, MS Word (сгруппированные). Отдается предпочтение исходным файлам, которые допускают редактирование рисунка. Допускаются изображения, конвертированные в форматы \*.cdr, \*.cmx, \*.eps, \*.ai, \*.wmf, \*.cgm, \*.dwg.

## 7. Материалы для очередного номера принимаются до 30-го числа первого месяца квартала.

**Подписной индекс издания  
в общероссийском каталоге «Пресса России» — 85022.**



## РАЗРАБОТКА, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ВНЕДРЕНИЕ И СОПРОВОЖДЕНИЕ КОМПЛЕКСА СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ

- ЭЦ-МПК, ЭЦ-МПК-У — релейно-процессорная централизация
- МПЦ-МПК — микропроцессорная централизация
- ДЦ-МПК — диспетчерская централизация
- УЭП-МПК — устройства электропитания
- СТД-МПК — система технической диагностики
- АСУ АРЛМ — автоматизированная система учёта и анализа работы линий метрополитена
- КАС ДУ — комплексная автоматизированная система диспетчерского управления



Наш адрес: 620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, корпус Б, оф. В3-7  
 Тел./факс: (343) 221-25-23  
 E-mail: [info@nilksa.ru](mailto:info@nilksa.ru). Веб-сайт: [www.nilksa.ru](http://www.nilksa.ru)



## НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

### «СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНТАКТНОЙ СЕТИ»

#### Основные направления работы

- Разработка проектов реконструкции и модернизации контактной сети железнодорожного транспорта.
- Проектирование внешнего электроснабжения до 1000 кВ включительно и внутреннего электроснабжения жилых, общественных и производственных зданий.
- Проведение электротехнической экспертизы оборудования.
- Расчет автоколебаний проводов контактной подвески и взаимодействия различных токоприемников с контактным проводом.
- Научно-исследовательские работы в области совершенствования системы токосъема железнодорожного транспорта.

Заведующий лабораторией: канд. техн. наук, доцент Ковалев Алексей Анатольевич.



Наш адрес: 620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, оф. Б3-03.  
 Тел./факс: (343) 221-25-27.  
 E-mail: [saprks@mail.ru](mailto:saprks@mail.ru). Веб-сайт: [www.sapr-ks.usurt.ru](http://www.sapr-ks.usurt.ru)

