

# ИННОВАЦИОННЫЙ ТРАНСПОРТ

I N N O T R A N S

№ 2 (20)

июнь 2016

教育基地 中俄丝  
发展研究中心 国际留学生



## Развитие проекта «Шелковый путь»: УрГУПС — железнодорожный институт г. Лючжоу (КНР)

Е. А. Малыгин, проректор по учебной работе  
и связям с производством УрГУПС

С. 3

Состояние и перспективы  
развития скоростного  
движения поездов в Китае

Инновационный метод  
проектирования  
и строительства ВСМ

Организация тяжеловесного  
движения на восточном  
участке БАМа



## Общероссийская общественная организация РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ТРАНСПОРТА



Основана 26 июня 1991 года, насчитывает 966 действительных членов, среди которых доктора и кандидаты технических наук, доктора транспорта.

Располагает 12 региональными отделениями и 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:

- «Разработка методологических подходов и рекомендаций по разработке региональных транспортных стратегий, увязанных с приоритетами, целями и задачами Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2013 года»
- «Научное обоснование комплексного развития международных транспортных коридоров, проходящих по территории Российской Федерации на среднесрочную и долгосрочную перспективу»

### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ:

Центральное отделение:  
107078, г. Москва, ул. Маши Порываевой, д. 34.  
Тел.: +7 (495) 789-98-72, факс: +7 (495) 789-98-71.  
Сайт: [www.ratrf.ru](http://www.ratrf.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@usurt.ru](mailto:Anna@usurt.ru)

### С НАМИ СОТРУДНИЧАЮТ:



Минтранс РФ



Министерство транспорта  
и дорожного хозяйства  
Волгоградской области



АЭРОФЛОТ

СКОРОСТНЫЕ  
МАГИСТРАЛИ

# Инновационный транспорт

Научно-публицистическое издание

№ 2 (20), 2016 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.

Отпечатано в соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета в типографии ООО «Е-ПРИНТ». 614000, г. Пермь, ул. Куйбышева, 1. Тел.: (342) 277-13-63, 20-999-33.

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

DOI: 10.20291/2311-164X.

Подписано в печать 30.06.2016. Печать офсетная.

Тираж 1000 экз.

© ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения», 2016

© Общероссийская общественная организация «Российская академия транспорта», 2016

## 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 Элштайн**, доктор технических наук, Siemens (Германия).

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

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

## 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

№ 2 (20), 2016

Published since November 2011

**Founders:** Russian Academy of transport (РАТ), 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 30.06.2016. Offset printing.

Circulation 1000 copies.

© FGBOU VO Ural State University of Railway Transport, 2016

© All-Russian Public Organisation “Russian Academy of Transport”, 2016

## 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

<i>Малыгин Е.А.</i> Развитие проекта «Шелковый путь»: УрГУПС — железнодорожный институт г. Лючжоу (КНР) . . . . .	3
<i>Гао Цзя, Ли Лу, Жуань Цзюхун, Нань Фэн.</i> Состояние и перспективы плана эксплуатации ВСМ Китая . . . . .	6
<i>Арипов Н.М., Баратов Д.Х.</i> Перспективы развития высокоскоростного движения и вопросы внедрения электронного оборота технической документации на железных дорогах Узбекистана . . . . .	10

## Организация производства (транспорт)

<i>Журавская М.А., Коцан В.В., Парсюрлова П.А.</i> К вопросу формирования дружественной транспортной сети на основе анализа остановочных пунктов городских агломераций . . . . .	15
<i>Сирина Н.Ф., Зубков В.В.</i> Организация территориального управления эксплуатационной работой на регионе обслуживания железной дороги . . . . .	22
<i>Хоменко А.П., Каргапольцев С.К., Сольская И.Ю., Богатов М.Ю.</i> Непрерывное образование в международном контексте как инструмент инновационного развития железнодорожного транспорта . . . . .	27
<i>Самуйлов В.М., Неволин Д.Г., Кошкарлов В.Е.</i> Инновационный метод проектирования и строительства ВСМ с использованием нежестких типов конструкций . . . . .	31
<i>Якимов М.Р.</i> Инновационные технологии сбора данных интенсивности движения транспортных и пассажирских потоков . . . . .	38

## Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

<i>Микава А.В., Ковалев А.А.</i> Разработка математической модели положения консоли по высоте опоры . . . . .	42
<i>Петрушин А.Д., Хомченко Д.Н.</i> Обеспечение работоспособности тяговых электрических машин при организации тяжеловесного движения . . . . .	50
<i>Аккерман Г.Л., Скутина М.А., Калинин А.В., Рыбинцев И.Е.</i> Балза как средство контроля температурно-напряженного состояния рельсовых плетей, прогнозирования выброса и разрыва плети . . . . .	54
<i>Паранин А.В., Леонов А.Г.</i> Расчет тепловых характеристик и допустимых токов на лимитированном перегоне . . . . .	62

## Эксплуатация автомобильного транспорта

<i>Моисеев О.Ю., Парышев Д.Н., Овчинников И.Г., Харин В.В., Овчинников И.И.</i> Инновационная трубобетонная балка для пролетных строений балочных малых мостов . . . . .	67
--	----

## Управление процессами перевозок

<i>Каликина Т.Н., Давыдов А.Ю., Пляскин А.К., Кейно М.Ю.</i> Организация тяжеловесного движения на восточном участке Байкало-Амурской магистрали . . . . .	72
--	----

# CONTENTS

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

<i>Evgeniy A. Malygin</i> Development of the Silk Road project: USURT — Liuzhou Railway Institute (China) . . . . .	3
<i>Gao Jia, Li Lu, Ruan JiuHong, Nan Feng.</i> Status and Prospect of China High-speed Railway Train Operation Plan . . . . .	6
<i>Nazirzhon M. Aripov, Dilshod K. Baratov.</i> Prospects of high speed running development and issues of electronic technical document turnover at the Uzbekistan railroads . . . . .	10

## The organization of production (transport)

<i>Marina A. Zhuravskaya, Veronika V. Kopan, Polina A. Parsurova.</i> On arrangement of friendly transportation network based on analysis of urban agglomeration halt points . . . . .	15
<i>Nina F. Sirina, Valeriy V. Zubkov.</i> Organization of territorial management of operations in the service region of the railroad . . . . .	22
<i>Andrey P. Khomenko, Sergey K. Kargapol'tsev, Irina Y. Solskaya, Maksim Y. Bogatov.</i> Continuous education in the international context as a tool of innovative development of railway transport . . . . .	27
<i>Valery M. Samuylov, Dmitry G. Nevolin, Vladimir Y. Koshkarov.</i> Innovative method for design and construction of high speed railroads using flexible types of structures . . . . .	31
<i>Mikhail R. Yakimov.</i> Innovative technologies of data collection on traffic intensity and passenger flows . . . . .	38

## Rolling stock, hauling operation and electrification

<i>Aleksandr V. Mikava, Aleksey A. Kovalev.</i> Development of mathematical model for bracket position by height of support . . . . .	42
<i>Aleksandr D. Petrushin, Dmitriy N. Khomchenko.</i> Ensuring good working order of traction electric machines when organizing heavy weight traffic . . . . .	50
<i>Gennadiy L. Akkerman, Maria A. Skutina, Aleksandr V. Kalinin, Ilya E. Rybintsev.</i> Balize as a method of thermally stressed condition control in the rail bars, forecast of rail bar blowout and rupture . . . . .	54
<i>Aleksandr V. Pararin, Aleksey G. Leonov.</i> Calculation of heat characteristics and permissible current at a limited railway section . . . . .	62

## Operation of motor transport

<i>Oleg Y. Moiseev, Dmitriy N. Paryshev, Igor G. Ovchinnikov, Valeriy V. Kharin, Ilya I. Ovchinnikov.</i> Innovative tube concrete beam in span structures of minor beam bridges . . . . .	67
--	----

## Management of transportation processes

<i>Tatiana N. Kalikina, Yuriy A. Davidov, Artem K. Plyaskin, Maxim Y. Keino.</i> Organization of heavy weight traffic at the eastern section of Baikal-Amur Mainline Railway . . . . .	72
--	----



Евгений Алексеевич  
Мальгин

Evgeniy A. Malygin

## Развитие проекта «Шелковый путь»: УрГУПС — железнодорожный институт г. Лючжоу (КНР)

### Development of the Silk Road project: USURT — Liuzhou Railway Institute (China)

#### Аннотация

В статье освещены формы международного сотрудничества УрГУПС в сфере образования на примере вузов РФ и КНР, раскрыты возможные направления сотрудничества, пути интеграции действующих образовательных стандартов, соответствующих национальным требованиям.

**Ключевые слова:** международное сотрудничество, программа академического обмена, скоростное движение поездов, транспортно-логистические комплексы, новые системы управления движением поездов, профессиональные траектории, формы академического сотрудничества.

#### Summary

The article discusses the forms of international academic cooperation of USURT on the example of Russian and Chinese higher education institutions, possible areas of interaction are described, ways of integration of existing academic standards conforming with international requirements are presented.

**Keywords:** international cooperation, academic exchange program, high-speed train operation, transport and logistics systems, new train control systems, professional trajectories, forms of academic cooperation.

DOI:10.20291/2311-164X-2016-2-3-5

#### Авторы Authors

*Евгений Алексеевич Мальгин, канд. техн. наук, профессор, проректор по учебной работе и связям с производством Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург*

*Evgeniy Alekseevich Malygin, PhD in Engineering, Professor, Vice-rector for academic work and relations with manufacturers, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg*



Участники церемонии подписания соглашения по проекту «Шелковый путь»

Транспорт во все времена успешно решал задачу сближения регионов и народов. Особое место в этом отводится железнодорожному транспорту, а создание линий высокоскоростного движения существенно повышает эффективность развития транспортных коммуникаций.

Эффективность деятельности транспортного комплекса стран и регионов в значительной степени определяется уровнем кадрового обеспечения данного процесса. Решение этой задачи возложено на транспортные вузы стран — участников Международной ассоциации транспортных университетов Азиатско-Тихоокеанского региона (МАТУ АТР). Симпозиумы, регулярно проводимые МАТУ АТР, эффективно влияют на развитие двухсторонних и многосторонних связей вузов региона.

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС) заключил и реализует партнерские договоры с вузами Республики Казахстан, Республики Корея, Китайской народной республики, Монголии, Узбекистана и других государств.

Содружество двух соседствующих стран — Китая и России имеет многовековые традиции. Экономическое содружество во многом определялось наличием транспортных коммуникаций между Россией и Китаем: функционированием Китайско-Восточной железной дороги в начале XX века, развитием железнодорожного транспорта КНР в послевоенный период, тесными приграничными транспортными связями между российским Дальним Востоком и северными регионами КНР.

В настоящее время назрела необходимость совместного развития транспортного комплекса, в первую очередь — железнодорожного транспорта. В Российской Федерации разработаны новые типы локомоти-

вов для тяжеловесного движения составов массой более 10 тыс. тонн. В КНР опережающими темпами развивается скоростное железнодорожное пассажирское движение. В обеих странах активно развиваются транспортно-логистические комплексы и создаются новые системы управления движением поездов. Тем самым создаются предпосылки для развития транспортных коридоров между нашими государствами, между азиатско-европейскими регионами и странами.

Железнодорожный транспорт — сложный технологический комплекс, в котором важное место занимает человеческий фактор. От профессионализма железнодорожников во многом зависят и результаты экономической деятельности, и безопасность движения. Внедрение новых технологических процессов на железнодорожном транспорте существенным образом меняет требования к уровню образования персонала.

Совместная деятельность наших стран в сфере образования имеет давние традиции. В середине прошлого столетия в СССР, в том числе в Свердловске (как тогда назывался Екатеринбург), обучались тысячи китайских граждан. До сих пор в системах образования России и Китая сохранены многие общие принципы подготовки профессиональных кадров. Примерно в одном направлении происходят изменения в структуре образовательного процесса и его содержании. В России, как и в Китае, осуществлен переход на международную систему квалификаций «бакалавриат — магистратура — аспирантура». При этом в нашем вузе для железнодорожных направлений подготовки сохранено обучение по уровню «специалитет», на котором получают инженерную подготовку те, кто выбрал железнодорожные специальности.

Уральский государственный университет путей сообщения активно ведет научную деятельность в сфере железнодорожного транспорта. Можно назвать основные научные направления деятельности университета:

- исследование взаимодействия «колесо — рельс», в том числе при высокоскоростном движении;
- организация транспортно-логистических процессов крупных городов;
- создание новых систем регулирования движения поездов;
- организация тяжеловесного движения, в том числе с использованием новых типов локомотивов и нетягового подвижного состава (вагонов).

Мы знаем, что и в КНР ведутся научные исследования в указанных направлениях.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что совместная образовательная деятельность наших вузов имеет прочный фундамент.

Весной 2016 года Уральский государственный университет путей сообщения принял предложение о совместной работе с железнодорожным институтом г. Лючжоу по подготовке персонала и реализации образовательного проекта «Шелковый путь». В настоящее время подписан договор о совместной реализации образовательного проекта по четырем направлениям подготовки.

Система двух дипломов — очень привлекательный проект. В нашем университете уже проходит обучение группа китайских студентов как на подготовительном курсе, так и по профессиональным образовательным программам (по экономическим и техническим специальностям). Подписанный нашими вузами договор о деятельности Китайско-российского института Шелкового пути переводит эту работу на совершенно новый уровень. Фактически происходит интеграция образовательных ресурсов наших вузов, в результате чего студенты могут получить два диплома: китайский и российский. Это существенно расширяет возможности выпускников, позволяет им определить свои профессиональные траектории как в Китае, так и в России, учитывая предполагаемое совместное строительство высокоскоростной магистрали из КНР в Москву и далее в страны Европы.

Разработаны совместные учебные планы, которые прошли лицензирование в России и Китае. Учебные планы подготовки бакалавров по транспортным специальностям полностью соответствуют российским и китайским образовательным стандартам. При этом обеспечивается профессиональная подготовка, уровень которой предусмотрен действующими планами железнодорожного института Лючжоу, и глубокая теоретическая подготовка по фундаментальным дисциплинам, изучаемым в УрГУПС. Выпускники, завершившие обучение по разработанным учебным планам, могут продолжить обучение в магистратуре и далее в аспирантуре.



Посещение вуза-партнера — железнодорожного института г. Лючжоу (КНР)

Для успешной реализации образовательной составляющей проекта «Шелковый путь» наш университет уже ведет подготовку своих преподавателей для работы с китайскими студентами, проводится работа по выделению целого корпуса в студенческом городке университета, готовятся к приему китайских студентов и работники столовой, изучая блюда китайской кухни.

Разрабатываемая система двух дипломов предусматривает обучение в Лючжоу на первых двух курсах с последующим обучением в России и защитой выпускных квалификационных работ (проектов). В программу первых двух курсов включены не только русский язык, но и несколько дисциплин из учебных планов университетской подготовки.

В университете сегодня действует очень хороший спортивный центр, где не только проходят учебные занятия, но и тренируются студенты сборных команд вуза. Уже семь лет подряд сборная команда УрГУПС становится победителем спартакиады всех транспортных вузов России.

Проект «Шелковый путь» — это не только проект получения двух дипломов, он предусматривает и другие формы академического сотрудничества. В первую очередь — это развитие системы обмена студентами. Формой такого обмена могут быть летние школы продолжительностью до двух недель, обмен студентами на семестр, совместные спортивные мероприятия и многие другие формы работы.

В 2016 году УрГУПС отмечает свое 60-летие. 60 лет в жизни человека — это зрелость. Для вуза, его образовательной и научной деятельности — это расцвет, и реализация международных проектов принесет пользу не только университету, но и городу, и региону, и его гражданам. **ИТ**



Гао Цзя  
Gao Jia



Ли Лу  
Li Lu



Жуань Цзюхун  
Ruan Jiuhong



Нань Фэн  
Nan Feng

## Состояние и перспективы плана эксплуатации ВСМ Китая

### Status and Prospect of China High-speed Railway Train Operation Plan

(Статья публикуется в авторской редакции)

#### Аннотация

В статье предлагается обзор методов и инструментов подготовки китайского плана развития скоростного движения поездов в настоящее время. Проводится анализ проблем, возникших при его подготовке. Освещены перспективы автоматической подготовки и оптимизации планов развития скоростного движения поездов в реальном времени.

**Ключевые слова:** высокоскоростное движение поездов, план организации движения поездов, интеллект, динамическое приспособление.

DOI:10.20291/2311-164X-2016-2-6-9

#### Авторы Authors

*Гао Цзя, магистр наук, ассистент Шаньдунского университета путей сообщения, Цзинань, Шаньдун | Ли Лу, магистр наук, ассистент Шаньдунского университета путей сообщения, Цзинань, Шаньдун | Жуань Цзюхун, магистр наук, профессор, декан института железнодорожных перевозок Шаньдунского университета путей сообщения, Цзинань, Шаньдун | Нань Фэн, канд. техн. наук, преподаватель кафедры порта и морского берега института транспортного строительства Шаньдунского университета путей сообщения, Цзинань, Шаньдун*

*Gao Jia, Shan Dong Jiao Tong University, Master of Science, assistant, JiNan, Shan Dong | Li Lu, Shan Dong Jiao Tong University, Master of Science, assistant, JiNan, Shan Dong | Ruan Jiuhong, Shan Dong Jiao Tong University, Master of Science, professor, Dean of Rail Transit Institute, JiNan, Shan Dong, | Nan Feng, PhD in Engineering, Lecturer, Department of port and seashore, Institute of transport construction, Shan Dong Jiao Tong University*



## **1. Introduction**

Passenger train operation plans are organization schemes from passenger flows to train flows, which include the trains' origin-destination, route, class, number, marshalling, stop schemes, and the using schemes of vehicles based on the passenger flows.

At present, a complex passenger transport network consisted of the high-speed railway and the existing common-speed railway has been formed in China. And China railway transportation capacity is greatly enhanced. High-speed rail trains' number in the very great degree is no longer limited by the railway transport capacity. Then high speed railway train operation plan design should meet the demand of passenger as far as possible, in order to achieve the maximization of railway economic benefits and social benefits.

## **2. Prepare the status quo and existing problems of high speed railway train plan**

### **2.1. Compiling methods**

From long-term actual operating experience, a set of existing railway train operation plan compiling methods are implied. In accordance with the basic principles of "according to the flow", according to the section traffic density, all kinds of trains' operation section, stop schemes, train types and operation number are determined on the basis of passenger flow density and the train operation plan will adjust according to the change of the allocation of resources and the passenger flow, such as increasing the train number, type, or changing the train running speed and the trains' origin-destination, etc. In the actual operation level, China usually change the train operation plans based on the existing plans when compiling train diagrams, not without redefining the train operation plans [1–2].

### **2.2. Preparation tools**

Although in the actual production of transportation there are some reliable information systems such as TMIS (Transportation Management Information System, the railway Transportation Management Information System), TDCS (Train Operation Dispatching Command System, Train Dispatching Command System) and the CTC (Centralized Traffic Control System, Dispatching Centralized Control System), but in transportation planning, the optimization of high-speed railway train operation plans are not realized by intelligent systems [3].

## **3. The exiting problems**

### **3.1. Low degree of automation**

High-speed railway transport organization technology involves a broad scope, and it is a huge system engineering, which need a series of computer-aided decision systems to help complete transportation organization and improve the decision level. At present, some information systems are implied in high speed railway transportation plans making, which decrease the preparation time and improve the plans' quality. But in a whole, the automation degree of preparation and optimization of train operation plan need to be improved [4].

### **3.2. Ignoring the adjustment with actual passenger flow**

The preparation of high-speed railway train operation plan is based on the forecast passenger flow data. But in the actual operation, trains will attract new passengers in the process of transporting passengers, thus the actual operation passenger flows are not consistent with forecast passenger flows. In order to meet the demand of the actual passenger flows, train operation plans need to be adjusted based on the actual operation passenger flows [1, 5]. Now, the optimization of high speed railway train operation plans based on actual operation passenger flows are not realized comprehensively.

## **4. The prospect of high speed railway train operation plan**

### **4.1. Goals**

1. To realize the intelligence in the train operation plan decision-making

An automatic train operation plan preparation system will be set up. Feasible train operation plans can be automatically generated according to the passenger demand and railway transport capacity resources.

2. To realize train plan optimization based on dynamic passenger flow

A dynamic feedback adjusting system will be established. The initial operation plan generated by the automatic train operation plan preparation system will be detected whether it is matched with the actual passenger flow and be real-time optimization when it does not meet the real requirement.

## 4.2. Contents

### 1. The development of train operation plan automatic preparation system

Based on the thorough research on the formal description of the interaction between human and machine, expert system of intelligent optimization system of high speed railway train plan, knowledge representation methods of train operation plan compiling which are suitable for high speed railway will be established. Thus, to achieve the unified access and presentation of high speed railway train operation plans' deep knowledge, experience and preparation strategies. Therefore, as the basis of expert system design, the characteristics and the process of high speed railway train operation plan making need to be analyzed in-depth. Furthermore, the process of operation plan preparation need to be understood in a higher level, and the perspective of the train operation planning personnel is needed, too.

### 2. The design of intelligent algorithms on train operation plans' preparation and dynamic adjustment

Efficient algorithms are designed using the heuristic intelligent and advanced intelligent control technologies including fuzzy control and neural network control, and related theories such as fuzzy set, operational research, combinatorial mathematics, optimization theory and modern optimization algorithms. According to the characteristics of the model of passenger train plan, and the idea of step by step, to study China high speed railway train operation plan compiling optimization theories and methods in-depth. Then realize the real-time, high precision, high flexibility, adaptability, robustness and flexibility intelligent system of high-speed railway train plan preparation will be realized [6, 7].

## 4.3. Results

### 1. Automatic preparation of train operation plan

To improve the timeliness and accuracy of train operation plan, the train operation plan automatic preparation system is established which completes preparation work. Then, the computer is instead of manual by experience, and the preparation is in high speed, the design quality of passenger train plan is also high.

After every passenger train's running, the system will counts automatically every train passenger flow statistics, analyze the benefits of each train, and comprehensively analyze of passenger transportation economic benefits on the overall. Through real-time uninterrupted passenger flow information collection, traffic information management, and traffic volume forecast and the comprehensive analysis of the passenger transportation market are realized. The system will predict the change of the passenger flow based on

historical data, and compiling train plans according to passenger flow and the passenger demand for passenger transportation product.

According to the passenger flow data from the station and the train equipment, the system automatically prepares the train operation plan according to the rules of mathematical model in intelligent way. The train operation plan will be transferred to the train diagram planning system as the basis of preparation of train diagram. At the same time, the information of train diagram will feedback to the train operation preparation system in real time. System according to the information responded by train diagram system make adjustments accordingly, in order to meet the needs of the train diagram compiling. After many times feedback adjustment, the initial train operation plan will be formed.

### 2. Dynamic adjustment of train operation plan

According to the above analysis, the compilation of the current high speed railway train plan is simple, and the adjustment based on actual passenger flow is lacked. So, in the future, high-speed railway train plan should be made as process shown in Fig.1.

In order to meet the needs of actual high-speed railway passenger flow and the high efficiency and feasibility of the plan preparation, the operation plan dynamic feedback adjustment system is establish to complete adjustment work. According to the actual passenger flow data and the initial train operation plan from the train operation plan compiling system, the train operation plan will be adjusted intelligently through expert database and computational optimization model.

Dotted box in Fig. 1 shows the process of the feedback adjustment of the train operation plan. Firstly, the system automatically detects the operation plan and real passenger flow. Secondly, the system automatically makes feedback adjustment of train operation plan according to the demand of real passenger flows.

The matching detection between the initial train operation plan and the actual passenger flows refers to the real-time calculation of deviation value between the passenger flow used for compiling the initial and the real passenger flow. When the deviation value is beyond the scope of regulation, it can automatically adjust the train operation plan by passing the actual operation passenger flow to the train operation plan feedback adjustment model.

Train operation plan feedback adjustment is mainly through the mathematical model. Train operation plan feedback adjustment model plan is an important means to meet the needs of the market to realize the intelligent railway passenger transport organization. According to the actual number of passenger flow, passengers' hierarchical needs and the national railway equipment's real-time release information, the system will use the designed train operation plan feedback adjustment model to calculate to obtain the optimized train operation plan based on dynamic passenger flow.

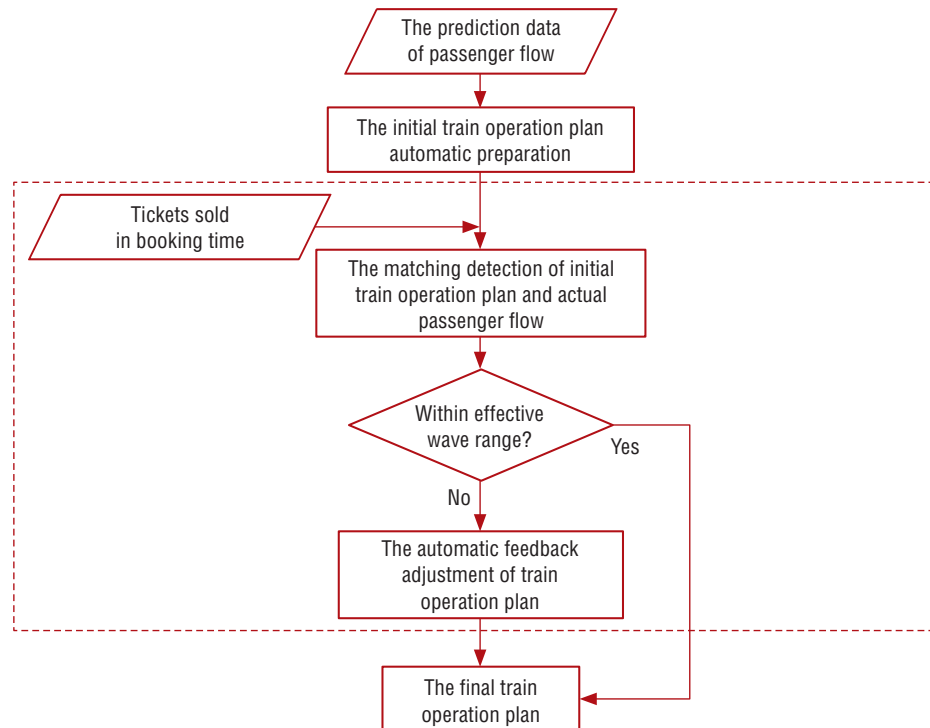


Fig. 1. The flow chart of high-speed railway train plan in the future

## 5. Conclusion

Based on the analysis of the status and existing problems of China high speed railway train operation plan, prospects of intelligent preparation and optimization based on dynamic passenger flow of high speed railway train plan are proposed. Intelligent preparation and optimization based on dynamic passenger flow of high speed railway train plan in-

volve a complex dynamic process modeling, knowledge expression, database control and decision making, the intelligent coordination and other basic theory researches, which will drive and promote a large number questions involved of high speed railway intelligence, intelligent control and decision theory to be discussed and solved, and can provide the existing intelligent control theory research of actual engineering application background. **ИТ**

## Список литературы / Reference

1. 吕叶.基于动态客流的高速铁路列车开行方案调整优化方法研究 [D].西南交通大学硕士论文, 2015 : 18–19. (Lv, Ye. Adjustment And Optimization Of High-speed Railway's Train Operation Plan Based On Dynamic Passenger Flow. / Ye Lv / Southwest Jiaotong University Master Degree Thesis. 2015. P. 18–19.)
2. 左大杰.铁路快速客运网络旅客列车开行方案优化研究 [D].西南交通大学博士论文2010 : 5. (Zuo, Dajie. Study on the train operation scheme for rail way express passenger transport network / Dajie Zuo // Southwest Jiaotong University Doctor Degree Thesis. 2010. P. 5.)
3. 魏巍.高速铁路列车开行方案编制关键技术与辅助决策系统开发 [D].北京交通大学硕士论文, 2011 : 1–2. (Wei, Song. Research on Critical Technologies of Line Planning and Development of Computer-aided Decision System for High-speed Railways / Song Wei // Beijing Jiaotong University Master Degree Thesis. 2011. P. 1–2.)
4. 付慧伶, 聂磊, 杨浩, 佟璐.高速铁路列车开行方案编制流程分析 [J].铁道运输与经济, 2009, 31 (10) : 4–7. (Fu, Huiling Nie, Lei, Yang, Hao Tong, Lu. Analysis On The Compiling Process of The Train Plan of High Speed Railway / Huiling Fu, Lei Nie, Hao Yang, Lu Tong // Railway Transport And Economy. 2009. V. 31 (10). P. 4–7.)
5. 高佳.智能铁路旅客运输组织关键技术研究 [D].西南交通大学硕士论文, 2014 : 26–27. (Gao, Jia. Key Technologies of Intelligent Railway Passenger Transportation Organization. / Jia Gao // Southwest Jiaotong University Master Degree Thesis. 2014. P. 26–27.)
6. 陈钉均, 倪少权, 吕红霞, 吕苗苗.旅客列车始发方案研究综述 [J].铁道运输与经济, 2013, 35 (1) : 34–38. (Chen, Dingjun Ni, Shaoquan Ni, Hongxia Lv, Miaomiao Lv // Railway Transport and Economy. 2013. V. 35 (1). P. 34–38.)
7. 贾利民, 张建华, 张锡第.高速铁路列车运行控制的现状与展望 [J].中国铁道科学, 1996, 17(4) : 95–100. (Jia, Limin Zhang, Jianhua Zhang, Xidi Zhang // China Academy of Railway Science. 1996. V. 17(4). P. 95–100.)

УДК 626.25



Назиржон Мукарамович  
Арипов

Nazirzhon M. Aripov



Дилшод Хамидуллаевич  
Баратов

Dilshod K. Baratov

## Перспективы развития высокоскоростного движения и вопросы внедрения электронного оборота технической документации на железных дорогах Узбекистана

### Prospects of high speed running development and issues of electronic technical document turnover at the Uzbekistan railroads

#### Аннотация

В статье рассмотрены этапы развития скоростного и высокоскоростного движения на железных дорогах Узбекистана, исследованы особенности электронного документооборота технической документации железнодорожной автоматики и телемеханики. Рассмотрены задачи синтеза математического описания электронного документооборота технической документации железнодорожной автоматики и телемеханики. Приведено формализованное представление электронного документооборота технической документации железнодорожной автоматики и телемеханики. С этой целью проведено обследование реальных процессов создания, проверки и использования технической документации на примере ведения заказных спецификаций систем автоматики и телемеханики, что позволило выявить сценарии документооборота, а также протоколы свойств технических документов.

**Ключевые слова:** высокоскоростное движение, железнодорожная автоматика и телемеханика, электронный документооборот технической документации, формальные методы и модели, обобщенная формализованная схема, алгоритм ведения заказных спецификаций.

DOI:10.20291/2311-164X-2016-2-10-14

#### Авторы Authors

**Назиржон Мукарамович Арипов**, д-р техн. наук, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика на ж.-д. транспорте» Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта, Ташкент, Узбекистан | **Дилшод Хамидуллаевич Баратов**, канд. техн. наук, проректор Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта, Ташкент, Узбекистан.

**Nazirzhon Mukaramovich Aripov**, DSc in Engineering, Professor, Department of Automation and Telemetry in railway transport, Tashkent Institute of Railway Transport Engineers, Tashkent, Uzbekistan | **Dilshod Khamidullaevich Baratov**, PhD in Engineering, Vice Rector, Tashkent Institute of Railway Transport Engineers, Tashkent, Uzbekistan

#### Summary

The article considers the stages of development of express and high speed railway running at the Uzbekistan railroads, specific features of railway automation and telemetry electronic technical document turnover are researched. Tasks of mathematical description synthesis for electronic technical document turnover of railway automation and telemetry are analyzed. The formal description of electronic technical document turnover of railway automation and telemetry is given. To this end, examination of real life processes of preparation, checkup and use of technical documentation is performed on the example of tailored specifications of automation and telemetry systems, allowing to identify the document turnover scenarios, as well as protocols for technical documentation properties.

**Keywords:** high speed running, railway automation and telemetry, electronic technical documentation turnover, formal methods and models, generalizes formal system, algorithm of tailored specifications management.

В Республике Узбекистан взят курс на модернизацию железных дорог, и приоритетным направлением является увеличение скоростей движения пассажирских поездов. В этом направлении уже пущена в эксплуатацию скоростная линия на участке Ташкент — Самарканд со скоростью движения поездов 150–250 км/час. Был проведен ряд мероприятий по обеспечению безопасности движения высокоскоростных поездов: укрепление железнодорожных путей, обновление габаритов строений, изменение конфигурации стрелочных переводов.

Сроки реализации основных мероприятий по организации скоростного и высокоскоростного движения на железных дорогах Узбекистана разделены на 4 этапа [1]:

1. **2010–2015 гг.** Первоначальный этап, связанный с подготовкой и внедрением высокоскоростного движения электропоезда Talgo-250 на направлении Ташкент — Самарканд.

2. **2016–2020 гг.** Этап характеризуется расширением зон эксплуатации скоростного движения на направлении железных дорог Ташкент — Карши с интенсивным пассажиропотоком. Экспертная оценка реализации мероприятий данного этапа предусматривает организацию движения скоростного пассажирского поезда со скоростью до 160 км/ч по существующему пути, который должен быть предварительно реконструирован в соответствии с техническими требованиями. Помимо этого, учтены расходы по строительству объектов обеспечения безопасности.

3. **2021–2025 гг.** На данном этапе охват скоростного и высокоскоростного движения будет расширен за счет направлений железных дорог с массовыми пассажиропотоками: высокоскоростное движение на участке Ташкент — Бухара; скоростное движение на направлениях пригородного движения Ташкент — Чинар и Ташкент — Ангрен. Экспертная оценка по участку предусматривает реконструкцию железнодорожного пути, включая устройства сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) и связи, искусственных сооружений, а также электрификацию перегонов и станций. В соответствии с требованиями по обеспечению безопасности железной дороги, предполагается строительство объектов охраны и ограждений.

4. **До 2035 г.** Этап дальнейшего развития скоростного движения на полигонах Ташкент — Навои — Ургенч (Нукус), Ташкент — Андижан. На данном этапе предусматриваются: постройка и ввод в эксплуатацию новой электрифицированной железнодорожной линии Ангрен — Пап; формирование скоростной магистрали Ташкент — Андижан.

В связи с ростом объемов строительства и технического перевооружения на участках высокоскоростного движения перед железнодорожной отраслью Узбекистана стоят задачи сокращения сроков и стоимости проектирования, строительства и производства пусконаладочных работ при вводе в эксплуатацию систем железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ).

В современных условиях расширяются функциональные возможности новейших систем автоматики и телемеханики, растут объемы и качество информации, предоставляемой системами ЖАТ для организации движения, мониторинга поездного положения и состояния объектов инфраструктуры. При дальнейшем развитии этих систем их проектирование, процесс поиска и устранения отказов становятся сложнее; увеличивается число субподрядных организаций, участвующих в проектировании, строительстве и поставке приборов, конструктивов и компонентов; удлиняются сроки проверки систем при вводе в эксплуатацию.

К сожалению, при создании систем ЖАТ не всегда используют современные методы проектирования, организации взаимодействия причастных компаний, контроля качества выполнения работ, автоматизации ввода и получения информации. В результате увеличиваются сроки проектирования, строительства и ввода в эксплуатацию систем, непроизводительные затраты времени, сложнее осуществляется планирование сроков окончания работ, невозможно своевременно принять корректирующие управленческие решения, и, как следствие, существенно удорожаются работы.

Выходом из этой ситуации является создание комплексной системы мониторинга и управления проектированием, строительством, пусконаладочными работами, поставками приборов, материалов и оборудования, а также анализа качества выполняемых работ на основе электронного оборота технической документации.

Применение электронного документооборота [2] обуславливается возрастанием сложности систем и огромными объемами передаваемой и обрабатываемой информации. Например, проверка проекта электрической централизации станции визуальным методом, без применения технических средств, по времени может быть сравнима со сроками проектирования системы. Таким образом, без использования средств комплексной автоматизации процессов получения информации и информационного обмена невозможно сокращение сроков и повышение эффективности производства работ.

Наиболее эффективное решение задач автоматизации может быть достигнуто путем формализации и применения математических методов оптимизации и координации взаимодействия процессов электронного документооборота технической документации, в особенности ее основной части — ведения заказных спецификаций (ВЗС) на устройства железнодорожной автоматики и телемеханики [3]. Контроль и управление заказами оборудования представляет собой комплексное решение по работе со спецификациями, управлению заказами и по контролю исполнения заказов оборудования при строительстве и капитальном ремонте систем автоматики и телемеханики.

Формальные методы отображения процесса используют для анализа свойств объекта формальные модели. Таким образом, свойства объекта должны быть

формализованы в рамках некоторой математической модели. Соответственно, для применения формальных методов описания процесса ведения заказных спецификаций и для определения состава и свойств стандартных средств описания ведения необходимо разработать формализованную схему (ФС) описания объектов, участвующих в процессе ВЗС.

Формализованная схема является формой, определяющей состав и вид исходных данных, и должна обеспечивать возможность описания объекта в объеме, достаточном для автоматизации процесса ВЗС [4].

ФС должна быть универсальной, т. е. достаточно обобщенной для описания широкого класса объектов (спецификации, распоряжения, заявки), и в то же время обеспечивать простоту процедур привязки к конкретному объекту. Для этого ФС должна включать набор средств представления элементов, структуры и алгоритмов функционирования системы, функциональных и статических зависимостей между параметрами.

В дальнейшем такую схему будем называть обобщенной формализованной схемой (ОФС) для ВЗС на железнодорожном транспорте.

Известен ряд методов выявления алгоритмов функционирования сложных систем: метод упрощения работ; составление структурных информационно-временных схем, блок-схем и органограмм [5]. Сущность указанных методов заключается в пооперационной записи и анализе исследуемого процесса.

Общими недостатками этих методов с точки зрения исследования ВЗС на основе предложенных ОФС являются: ограниченный набор условных обозначений операций, сложность, а для ряда методов и невозможность отображения параллельности процессов ведения спецификации, трудоемкость заполнения бланков обследования.

В связи с этим в данной работе для построения алгоритмического отображения ВЗС предлагается использовать языки непосредственного описания дискретных процессов, к которым относятся сети Петри, логические схемы алгоритмов (ЛСА), логические схемы требований, параллельные логические схемы алгоритмов (ПЛСА) [6].

Наличие параллельных ветвей позволяет сделать вывод о необходимости выбора языков, имеющих средства отображения указанных особенностей алгоритмов ВЗС. Такими средствами обладают сети Петри и язык ПЛСА. Кроме того, необходимость объединения алгоритмов ВЗС требует обеспечения возможности формализованных преобразований алгоритмов.

Необходимость удовлетворения указанных требований приводит к выбору языка ПЛСА, являющегося развитием ЛСА.

Заказные спецификации будем описывать следующим образом:

$$s_g \in S, g = \overline{1, G}$$

$$p_{g,m} \in P_g, m = \overline{1, M},$$

где  $s_g$  — спецификации;  $p_{g,m}$  —  $m$ -й параметр оборудования в спецификации  $g$ . Здесь набор  $G$  образует множество обрабатываемых спецификаций  $S$ ; набор  $M$  параметров спецификации образует множество  $P_g$  всех рассматриваемых параметров  $g$ -й спецификации (каждый  $m$ -й параметр заносится в свою позицию спецификации).

Разработанная формализованная схема включает множество частных алгоритмов  $A_g, g = \overline{1, G}$  процесса ВЗС. Частные алгоритмы  $A_g, g = \overline{1, G}$  синтезированы на основе анализа существующей технологии и современного состояния систем электронного документооборота.

Частным является алгоритм, описывающий однородную технологическую функцию, выполняемую одним участником документооборота. Частный алгоритм ведения заказных спецификаций  $A_g$  представляет собой совокупность выполняемых в определенной последовательности операций и проверок логических условий.

В индексах частных алгоритмов  $A_g$  для участников документооборота  $P_g, g = \overline{1, Q}$  приняты следующие обозначения:

- проектная организация — 1;
- служба автоматики и телемеханики (Ш) — 2;
- дистанция сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) — 3;
- заказчик — 4;
- поставщики — 5;
- заводы — 6 ( $q = \overline{1, 6}$ ).

Алгоритмам присваиваются номера по последовательности выполнения  $A_g, g = \overline{1, G}$ . С учетом введенных обозначений участников документооборота алгоритмам ВЗС присваиваются индексы  $A_{q,g}$ .

Формализованная схема процесса ведения заказных спецификаций включает частные алгоритмы  $A_g$ , которые представлены в работе [7].

Введем ряд определений. Совокупность выполняемых в определенной последовательности операций и проверок логических условий в процессе ведения назовем алгоритмом ведения заказных спецификаций  $A_g$ .

Операцией  $O_p$  назовем элементарное действие по ведению спецификации из множества  $S$ . Все операции, выполняемые в процессе ведения  $s_g \in S$ , образуют множество  $O = \{O_p\}, p = \overline{1, P}$ . В индексе операции  $O_p, p = \overline{1, P}$  указывается номер участника и алгоритма, а также свой индивидуальный номер по последовательности записи.

В разработанной технологии предлагается разделить операции  $O_p$  на:

- операции, выполняемые вручную  $b_l, l = \overline{1, L}$ ;
- операции, выполняющиеся автоматически  $v_i, i = \overline{1, I}$ ;
- автоматизированные операции  $d_z, z = \overline{1, Z}$ .

Таблица 1

**Список операций алгоритма А11**

№	Операторы	Значение оператора
1	$b_{111}$	заполнение титула заказных спецификаций
2	$b_{112}$	выбор прибора $i$ -й позиции
3	$d_{111}$	поиск по базе данных СЦБ
4	$v_{111}$	получение одного варианта результата поиска
5	$v_{112}$	получение наименования прибора
6	$v_{113}$	получение технического условия прибора
7	$v_{114}$	получение № чертежа прибора
8	$v_{115}$	получение массы прибора
9	$v_{116}$	получение единицы измерения прибора
10	$v_{117}$	получение кода прибора
11	$v_{118}$	получение завода-изготовителя прибора для данного прибора
12	$v_{119}$	получение нескольких вариантов результата поиска
13	$b_{113}$	выбор одного соответствующего варианта из списка
14	$v_{1110}$	поиск не дал результата
15	$b_{114}$	проверка правильности ввода
16	$b_{115}$	выбор завода-изготовителя
17	$b_{116}$	выбор данных прибора, полученных из баз данных СЦБ
18	$b_{117}$	заполнение значения количества прибора
19	$v_{1111}$	формирование строки спецификации
20	$v_{1112}$	автоматическое заполнение строки данными
21	$v_+$	добавление строки к документу
22	$v_j$	определение конечного номера строки

Представленная обобщенная формализованная схема позволяет определить наборы исходных данных по алгоритмическому и параметрическому отображению ведения заказных спецификаций. Основной особенностью алгоритмов ВЗС является наличие параллельных ветвей.

ОФС обеспечивает достаточную гибкость описания ВЗС, так как в ее основе лежит алгоритмическое отображение системы. В соответствии с этим методика формализации должна быть направлена в первую очередь на выявление и описание алгоритмов ведения заказных спецификаций.

Введем символику записи частных алгоритмов ВЗС  $A_g$  на ПЛСА с учетом обозначений, принятых в [6] и ОФС. Основными элементами являются операторы, соответствующие операциям  $O_p$ , логические условия  $\alpha_k$ ,  $k = \overline{1, K}$ , помеченные стрелками  $\alpha_k \uparrow^p$ ,  $p = \overline{1, P}$ , где  $p$  — индекс стрелки. Переход спецификации при ложном значении  $\alpha_k$  осуществляется к элементу ПЛСА, помеченному стрелкой с тем же индексом  $\downarrow^p$ .

Использование языка ПЛСА для выявления и описания процессов ведения заказных спецификаций на железнодорожном транспорте позволило разработать методику обследования, направленную на выявление структурно-алгоритмического и параметрического отображения системы обработки заказных спецификаций.

Рассмотрим состав операций и их индексацию на примере алгоритма «Составление и формирование заказных спецификаций». В этом алгоритме индекс участника документооборота дистанции сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) равен 1 ( $q = 1$ ), номер алгоритма по последовательности — первый ( $g = 1$ ), количество автоматических операций равно 14 ( $v_i$ ,  $i = \overline{1, 14}$ ), количество автоматизированных операций равно 1 ( $d_z$ ,  $z = \overline{1, 1}$ ) и количество операций, выполняемых вручную, равно 6 ( $b_l$ ,  $l = \overline{1, 6}$ ). Таким образом, индекс данного алгоритма является А11. Состав операций алгоритма А11 представлен в табл. 1.

Алгоритм А11 включает следующие логические условия  $\alpha = \{\alpha_k\}$ ,  $k = \overline{1, 5}$ :

$$\alpha_{111} = \begin{cases} 1 & \text{— выбрана } i\text{-я позиция в ЗС} \\ 0 & \text{— не выбрана} \end{cases}$$

$$\alpha_{112} = \begin{cases} 1 & \text{— поиск дал результат} \\ 0 & \text{— в противном случае} \end{cases}$$

$$\alpha_{113} = \begin{cases} 1 & \text{— результат поиска — множество возможных вариантов} \\ 0 & \text{— в противном случае} \end{cases}$$

$$\alpha_{114} = \begin{cases} 1 & \text{— несколько заводов-изготовителей} \\ 0 & \text{— один завод-изготовитель} \end{cases}$$

$$\alpha_{115} = \begin{cases} 1 & \text{— формирование ЗС не закончено} \\ 0 & \text{— формирование ЗС закончено} \end{cases}$$

В результате анализа процесса ведения заказных спецификаций получена логическая схема алгоритма А11:

$$A11 = b_{111} \downarrow^{111} b_{112} \alpha_{111} \uparrow^{111} \downarrow^{117} d_{111} \alpha_{112} \uparrow^{112} \alpha_{113} \times \\ \times \uparrow^{113} v_{119} b_{113} \omega \uparrow^{116} \downarrow^{113} v_{111} \downarrow^{116} v_{112} v_{113} v_{114} v_{115} \times \\ \times v_{116} v_{117} v_{118} \alpha_{114} \uparrow^{114} \downarrow^{114} b_{115} b_{116} b_{117} v_{1111} v_{1112} \times \\ \times \downarrow^{112} v_{1110} b_{114} \alpha_{115} \uparrow^{115} v_+ \omega \uparrow^{117} \downarrow^{115} v_j$$

## Заключение

Потребности в высокоскоростном железнодорожном транспорте возрастают, что выявляет необходимость обновлять и модернизировать системы и устройства железных дорог, развивать современные информационные технологии электронного документооборота.

В настоящей статье на основе методологии формального описания модели систем документооборота технической документации представлена формализованная схема электронного документооборота технической документации, в частности, процесса ведения заказных спецификаций железнодорожной автоматики и телемеханики. **ИТ**

## Список литературы

1. Никитин А. Б., Болтаев С. Т. Оценка состояния инфраструктуры железнодорожной автоматики и телемеханики Узбекистана для введения высокоскоростного движения // Автоматика на транспорте. — 2015. — № 3, т. 1. — С. 251–267.
2. Василенко М. Н. Принципы организации электронного документооборота технической документации / М. Н. Василенко, Б. П. Денисов, П. Е. Булавский, Д. В. Седых // Транспорт Российской Федерации. — 2006. — № 7. — С. 31–35.
3. Баратов Д. Х., Арипов Н. М., Мухаммедходжаев С. Б. Формализованная схема систем управления и ведение технической документации // Вестник ТашИИТ. — 2014. — № 1/2. — С. 81–84.
4. Baratov D., Aripov N. The problems of electronic document management technical documentation on the basis of the hierarchical formalization // Proc. of VII International Scientific Conference and IV International symposium of young researchers: Transport problems 2015, Jun 22–25, Katowice, Poland. — 2015. — P. 620–625.
5. Булавский П. Е., Марков Д. С. Иерархическая многоматричная формализация имитационной модели электронного документооборота технической документации // Актуальные вопросы развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. трудов / под ред. Вл. В. Сапожникова — СПб. : ПГУПС, 2013. — С. 52–59.
6. Лазарев В. Г., Пийль Е. И. Синтез управляющих автоматов. — М. : Энергия, 1978. — 408 с.
7. Арипов Н. М., Баратов Д. Х., Мирсалихов Э. А. Автоматизированная технология ведения заказных спецификаций железнодорожной автоматики и телемеханики // Химическая технология. Контроль и управление. — 2015. — № 5 (65). — С. 73–79.





**Марина  
Аркадьевна  
Журавская**

**Marina A.  
Zhuravskaya**



**Вероника  
Васильевна  
Коцан**

**Veronika V.  
Kotsan**



**Полина  
Александровна  
Парсюрова**

**Polina A.  
Parsurova**

## К вопросу формирования дружественной транспортной сети на основе анализа остановочных пунктов городских агломераций

### On arrangement of friendly transportation network based on analysis of urban agglomeration halt points

#### Аннотация

Статья продолжает исследования авторов по вопросам оптимального размещения объектов транспортно-логистической инфраструктуры современного города, в частности, определения местонахождения остановочных пунктов в сфере пассажирского сервиса. Отличительной особенностью работы стал комплексный подход к решению этой задачи, где в качестве критериев рассматриваются не только экономический и социальный аспекты обеспечения транспортной доступности населения, но и экологические факторы в жизнедеятельности мегаполиса.

Учет экологических факторов в модели позволил рассмотреть вопросы формирования именно дружественной транспортной сети современного города. В качестве математического инструментария выбрана классическая матрица ABC–XYZ-анализов, которая позволила определить роль и значение существующих остановочных пунктов, разработать уникальные стратегии для трансформации наиболее подходящих из них в мультимодальные транспортно-пересадочные узлы и корректировки их местоположения с учетом перспективных планов городских агломераций.

**Ключевые слова:** транспортная сеть, городской общественный транспорт, остановочный пункт, транспортно-пересадочный узел, пассажиропотоки, мультимодальные технологии, дружественная городская среда, матрица ABC–XYZ-анализов

#### Summary

The article continues to elaborate the research of the authors on the issues of optimal layout of transport and logistic infrastructure objects of a contemporary city, namely the positioning of halt points in public transportation. A peculiarity of the work is an integrated approach to the solution of this task where as a criteria, apart from the economical and social aspect of public transport availability, ecological factors in the big city life are taken into account. Consideration of ecological factors in the model allowed to consider the matters of friendly transportation network arrangement of a modern city. As a mathematical tool, classical matrix of ABC–XYZ-analyses was chosen, which allowed to define the role and significance of the existing halt points, develop unique strategies for transformation of the most suitable ones to become multimodal transportation connecting hubs and correction of their position based on the urban development plans.

**Keywords:** transportation network, urban public transport, halt point, transport transfer hub, passenger flows, multimodal technology, friendly city environment, ABC–XYZ-analyses matrix.

DOI:10.20291/2311-164X-2016-2-15-21

#### Авторы Authors

**Марина Аркадьевна Журавская**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Мировая экономика и логистика» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС); Екатеринбург, Россия; e-mail: MZhuravskaya@usurt.ru | **Вероника Васильевна Коцан**, магистрант кафедры «Мировая экономика и логистика» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС); Екатеринбург, Россия; e-mail: VVKotsan@usurt.ru | **Полина Александровна Парсюрова**, аспирант кафедры «Мировая экономика и логистика» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС); Екатеринбург, Россия; e-mail: PAParsurova@usurt.ru

**Marina Arkadievna Zhuravskaya**, PhD in Engineering, Dean, Department of World economy and logistic, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, Russia; e-mail: MZhuravskaya@usurt.ru | **Veronika Vasilievna Kotsan**, masters student, Department of World economy and logistic, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, Russia; e-mail: VVKotsan@usurt.ru | **Polina Aleksandrovna Parsurova**, postgraduate student, Department of World economy and logistic, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, Russia; e-mail: PAParsurova@usurt.ru

## Актуальность проблемы

Одной из современных тенденций организации перевозочного процесса пассажиров в городских агломерациях является формирование дружественной транспортной среды, которая определяется с двух позиций: во-первых, бизнеса, где встречаются интересы разных участников транспортного процесса: пассажиров, транспортных компаний и городских властей, а во-вторых, с позиции окружающей среды города. Реализовать такой подход сегодня возможно на основе создания сети транспортно-пересадочных комплексов или узлов (ТПУ). ТПУ позволяет, с одной стороны, объединить различные виды городского общественного транспорта в единый транспортный процесс и получить синергетический бизнес-эффект от их деятельности, а с другой — разгрузить центр города от личного автотранспорта, тем самым снизить неблагоприятную нагрузку на экосреду мегаполиса. Однако создание сети таких ТПУ — длительное и дорогостоящее мероприятие, и на начальном этапе организовывать пересадочные комплексы необходимо на основе существующих остановочных пунктов. С этой целью авторами статьи была определена значимость каждого остановочного комплекса в геометрии городской транспортной сети. В качестве объекта исследования выбран город Екатеринбург, как самый компактный город-миллионник, а в качестве предмета исследования — городской общественный транспорт.

Актуальность темы исследования обуславливается тем, что год от года городское население стремительно растет. В настоящее время в городских агломерациях проживает уже более половины населения всего земного шара [1]. Эта тенденция не ослабевает, и количество горожан в мире продолжает расти, особенно в менее развитых странах (рис. 1).

Глобальная тенденция к урбанизации в полной мере захватила и Россию. В российских городах сегодня проживает 73,9% населения страны [3], что ведет к различным проблемам, и особенно транспортным. Для решения транспортных задач современных мегаполисов требуется комплексный подход, при котором будут выполняться такие требования, как:

- повышение комфорта и безопасности пассажирских сообщений;
- повышение эффективности использования существующей транспортно-логистической инфраструктуры;
- внедрение мультимодальных технологий для сочетания различных транспортных систем мегаполиса;
- увеличение скоростей сообщений, в том числе и в пунктах пересадки;
- внедрение энергосбережения и экологичности транспорта;
- создание дружественной городской среды и др.

Однако необходимо констатировать тот факт, что в большин-

стве крупных городов России далеко не все перечисленные требования выполняются. Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург и многие другие города испытывают транспортное напряжение и экологические проблемы.

Современные ТПУ позволяют снизить вредное воздействие на окружающую среду в мегаполисе. Сегодня транспортно-пересадочный комплекс — это высокоурбанизированная 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. Современный ТПУ, по сути, конгломерат различных зданий и сооружений, которые вместе с площадями, парковками и прилегающими пространствами составляют значительные компоненты городской среды. Функция пересадки пассажиров является доминирующей в ТПУ, а все остальные функции лишь обслуживают транзитные потоки пассажиров [4].

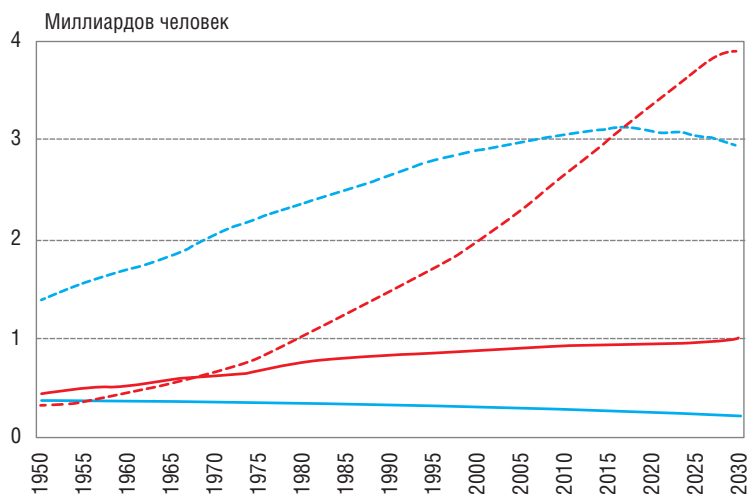


Рис. 1. Динамика численности городского и сельского населения развитых и развивающихся стран мира, 1950–2030 гг., млрд человек [2]  
 — более развитые страны, городское население;  
 — более развитые страны, сельское население;  
 - - - менее развитые страны, городское население;  
 - - - менее развитые страны, сельское население;

Транспортно-пересадочные узлы решают несколько важных задач крупного города. К задачам формирования дружественной 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) [5] и т. д.

### Анализ маршрутной сети городского общественного транспорта г. Екатеринбурга и выявление проблемного поля

В качестве объекта исследования авторами выбран г. Екатеринбург, который является одним из крупнейших промышленных центров России. Территория города поделена на семь административных районов (рис. 2).

Екатеринбург обладает развитой системой городского общественного транспорта (ГОТ), включающей в себя трамвай, троллейбус, автобус, метрополитен и маршрутное такси (табл. 1). Однако все перечисленные виды транспорта пока слабо интегрированы в единую систему ГОТ, в Екатеринбурге не создана сеть мультимодальных транспортно-пересадочных комплексов [5].

Из табл. 1 видно, что наибольшее количество пассажиров ежедневно перевозит автотранспорт (автобусы и маршрутные такси), на втором месте рельсовый вид городского транспорта — трамвай, затем метро. Наименее популярным среди жителей Екатеринбурга является троллейбус, несмотря на то что протяженность его маршрутной сети больше, чем в метро.

Транспортная сеть ГОТ Екатеринбурга, кроме плохого состояния дорожного полотна, имеет и технологические проблемы:

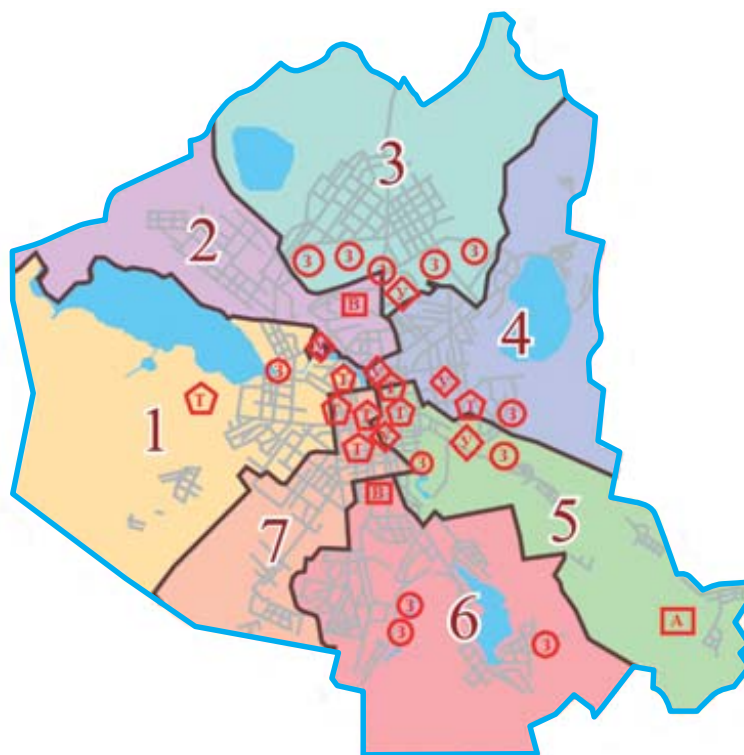


Рис. 2. Административная карта Екатеринбурга с основными инфраструктурными объектами: 1 — Верх-Исетский район; 2 — Железнодорожный район; 3 — Орджоникидзевский район; 4 — Кировский район; 5 — Октябрьский район; 6 — Чкаловский район; 7 — Ленинский район; ③ — заводы, промышленные предприятия; В — вокзалы; Т — торговые центры, офисы, компании; У — высшие учебные заведения; А — аэропорт

Таблица 1

#### Городской общественный транспорт г. Екатеринбурга

Участники	Количество маршрутов	Общая протяженность, км	Пассажиропоток, тыс. пасс./сут.
Автобус	53	1327,2	185,5
Трамвай	17	185,5	273,9
Троллейбус	18	168,4	93,4
Метро	1	13,8	142,3
Маршрутное такси	40	1327,2	208,1

1. Затопы на улицах города. В часы пик уровень пробок оценивается в 8–10 баллов из 10, что приводит к образованию чрезмерного количества пыли и других вредных выбросов.

2. Отсутствие парковочных мест для личного автотранспорта горожан, особенно в центре города.

3. Отсутствие оптимального взаимодействия видов ГОТ между собой, что еще больше усложняет транспортную ситуацию в городе.

Комплексным решением перечисленных выше задач может стать создание в Екатеринбурге системы транспортно-пересадочных узлов

## Организация производства (транспорт)

по опыту лучших городов мира. Авторами разработана методика определения наиболее значимых с точки зрения объемов пассажирской работы остановочных пунктов городской агломерации.

### Методика оценки значимости остановочных пунктов городского общественного транспорта

Вопросами изучения пассажиропотоков и моделирования маршрутной сети городского общественного транспорта занимались многие ученые [5–10]. Авторы настоящей статьи решили определить значимость остановочных пунктов г. Екатеринбурга с помощью классического инструментария логистики: матрицы ABC–XYZ-анализов. ABC-анализ позволил изучить остановочные комплексы с точки зрения объемов пассажирской работы, а XYZ-анализ дал возможность исследовать частоту или ритмичность работы остановочного пункта.

Главным недостатком этого подхода является огромная трудоемкость в сборе исходных данных. Говоря о достоинствах метода, следует отметить его комплексный подход с возможностью разделения всех остановочных пунктов на классы (проведение классификации).

Методика состоит из четырех основных этапов: декомпозиции, определения интегральных характеристик, интерпретации и разработки плана мероприятий (рис. 3).

Первый этап включает в себя мониторинг пассажиропотоков и собственно построение матрицы ABC–XYZ. Необходимо отметить, что в мониторинге принимали участие не только ученые, но и студенты крупнейшего транспортного вуза на Урале — УрГУПС. Обследование пассажиропотоков проводилось 4 раза в день:

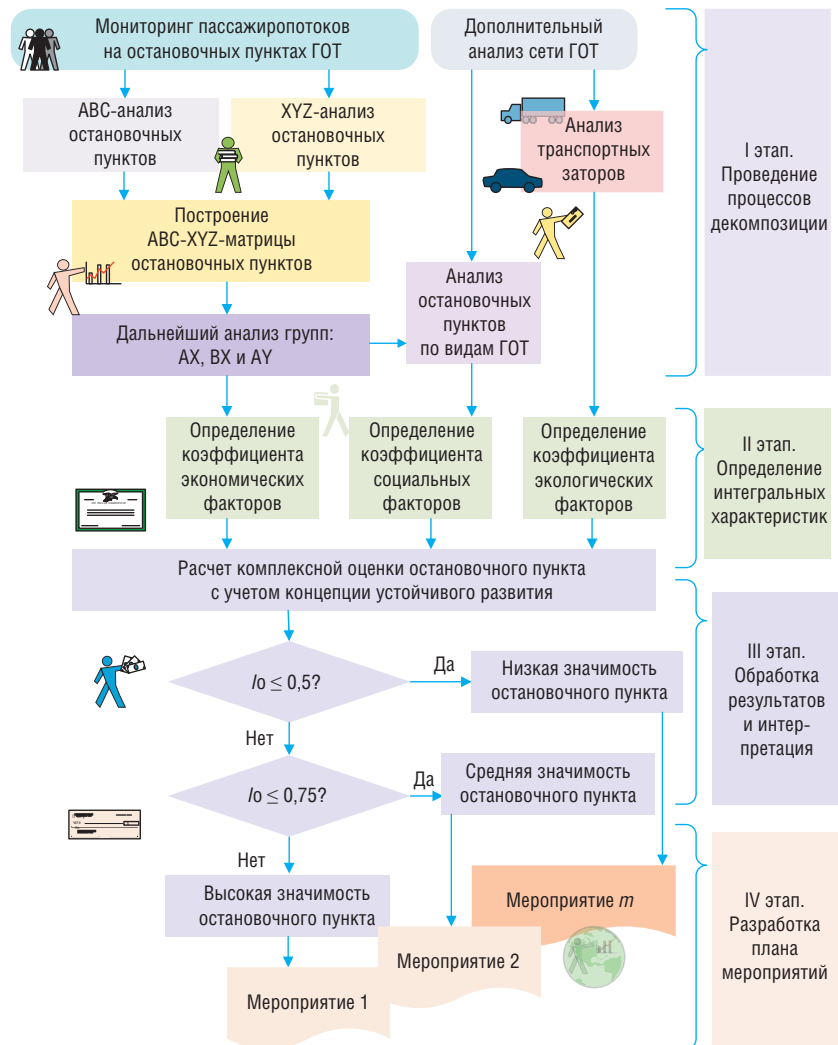


Рис. 3. Методика определения значимости остановочных пунктов

- утренние часы: с 7:00 до 9:30;
- обеденные часы: с 11:00 до 13:30;
- дневные часы: с 15:30 до 18:00;
- вечерние часы: с 19:30 до 22:00.

Были изучены пассажиропотоки на всех маршрутах ГОТ Екатеринбурга в разные интервалы времени.

Для анализов ABC и XYZ определялась значимость  $A_i$  каждого остановочного пункта в различные интервалы времени по формуле (1):

$$A_i = \frac{U_{kji}^{вх} + U_{kji}^{вых}}{\sum_{i=1}^n U_{kji}} \quad (1)$$

где  $U_{kji}^{вх}$  ( $U_{kji}^{вых}$ ) — входящий (выходящий) пассажиропоток в (из)  $k$ -е

транспортное средство  $j$ -го маршрута на  $i$ -м остановочном пункте;  $\sum_{i=0}^n U_{kji}$  — суммарный пассажиропоток  $k$ -го транспортного средства на  $j$ -м маршруте, если на этом маршруте  $n$  остановочных пунктов.

Для разбиения на группы ABC, XYZ авторы ориентировались на труды российских ученых [11]. Так, для ABC были выбраны качественные характеристики  $A$  — 80%,  $B$  — 15%,  $C$  — 5%; а для XYZ коэффициент вариации принимает значения:  $X$  — до 10%,  $Y$  — до 25%,  $Z$  — остальные.

В этой статье мы приведем лишь часть исследования, которое касалось одной из центральных и протяженных улиц Екатеринбурга — улицы Малышева. На этой улице курсируют:

- маршрутные такси (04, 067, 070, 077, 056);
- автобусы (15, 25, 32, 61, 64, 2);
- троллейбусы (19, 20, 6, 7, 18, 17, 3).

Трамваи и метро на выбранной улице не присутствуют, но существуют пересечения с маршрутами метро и трамвайными линиями. Результаты расчетов сведены в табл. 2.

Наибольший интерес представляют остановочные пункты, попавшие в группы АХ, АУ и ВХ: «Дом кино», «Дирижабль», «Высоцкого», «ТЦ „Мега“», «Куйбышева», «КОР», «Институт связи», «Викулова», «Заводская». Гипотетически все эти пункты могут претендовать на роль транспортно-пересадочных узлов (ТПУ), где осуществляется взаимодействие различных видов городского общественного транспорта. Именно эти остановочные пункты анализируются более подробно, с расчетом интегральной оценки.

На втором этапе методики рассчитывается интегральная оценка (на основе мультипликативной свертки) остановочных пунктов, вошедших в группы АХ, АУ и ВХ, с учетом теории устойчивого развития. Важно отметить, что именно ориентация на теорию устойчивого развития позволяет современному городу создать дружелюбную транспортную среду (более подробно об этом авторы писали в своих предыдущих работах [12–13]).

Для комплексной интегральной оценки  $I_0$  остановочного пункта города воспользуемся формулой, ранее предложенной авторами [12], для учета не только экономических и социальных факторов, но и факторов экологических:

$$I_0 = \sqrt[3]{k_{\text{соц}} * k_{\text{проб}} * k_{\text{эк}}}, \quad (2)$$

где  $k_{\text{соц}}$  — социальный коэффициент, учитывающий количество видов городского общественного транспорта, обслуживающих остановочный пункт.

Коэффициент определяем на основе классификации ТПУ, предложенной Вакуленко С. П. и Еврееновой Н. Ю. [10], и анализа городского общественного транспорта, обслуживающего остановочный пункт, по формуле:

$$k_{\text{соц}} = 1 + \frac{R_{\text{ТПУ}}}{10} + \frac{N_{\text{ВГОТ}}}{100}, \quad (3)$$

где  $R_{\text{ТПУ}}$  — подкласс транспортно-пересадочного узла по Еврееновой Н. Ю. [10],  $N_{\text{ВГОТ}}$  — количество видов городского общественного транспорта, обслуживающих остановочный пункт.

$k_{\text{проб}}$  — коэффициент пробок, отражающий среднюю загруженность дорожного участка в день. По сути, это экологический коэффициент. В первом приближении, на основе данных сервиса «Яндекс.Пробки» (рис. 4), определим его по формуле:

$$k_{\text{проб}} = 1 - \left( \frac{B_{\text{Тр,Д}}}{10} \right), \quad (4)$$

где  $B_{\text{Тр,Д}}$  — максимальный балл транспортных заторов, пробок в районе остановочного пункта по 10-балльной шкале.

$k_{\text{эк}}$  — экономический коэффициент, зависящий от стоимости проезда. Поскольку в настоящее время на всех видах ГОТ г. Екатеринбурга единая стоимость проезда, примем его равным 1.

Особенность интегральной оценки на основе мультипликативной свертки заключается в том, что она обращается в нуль, если среди составляющих  $k_i$  хотя бы один коэффициент равен нулю. В нашем случае это означает, что анализируемые остановочные пункты, у которых одна из оценок  $k_i$  близка к нулю, будут отвергнуты как не соответствующие требованиям. Такая оценка, по сравнению с интегральной

Таблица 2

Матрица ABC–XYZ-анализа остановочных пунктов маршрутов ГОТ, проходящих по ул. Малышева

	X	Y	Z
A	Дом кино, Дирижабль	Высоцкого, ТЦ «Мега», Куйбышева, КОР, Институт связи	Ж/д вокзал, Пехотинцев, 40 лет ВЛКСМ, Архитектурная академия, ТЦ «Карнавал», Шварца, Щорса, Ясная, Амундсена, Стрелочников
B	Викулова, Заводская	Пл. Малышева, Каменные палатки, Токарей, Трансагентство, Федерация профсоюзов, Музей Бажова, Ферганская, Высоцкого, Комсомольская, Гагарина	Профессорская, Заводская, Ювелирная, Санаторная, Авиационная, Генеральская, Горького, Театр «Волхонка», Развилки
C	Фрунзе, Чкалова	Гагарина, Гостиница «Центральная», Самоцветный бульвар, Пер. Рижский, Малахова, ТЮЗ, Радиоколледж, Крауля	Металлургов, Центральный стадион, ТЦ «Алатырь», Саввы Белых, Военная, Декабристов, Розы Люксембург, Трамвайный парк, Чапаева, «Клен», Сыромолотова, «Кировский», Заводоуправление, Заречный, База ОМОН, Новомосковский рынок, Зоологическая, Завод АТП, 14-й км, Ст. Путевка, Лечебная, 12-й км, Каменный карьер, Октябрьская, Поворот на УКЗ, Клуб, Туб. санаторий, Белоярская, Лестех, 13-й км, Микрохирургия

## Организация производства (транспорт)

оценкой на основе аддитивной свертки или на основе метрического критерия, получилась весьма чувствительной к минимально допустимым значениям своих составляющих, что особенно важно при отборе остановочных пунктов в первом приближении.

Результаты расчета интегральной оценки остановочного пункта сведены в табл. 3. Это третий этап работы, на котором происходит обработка результатов и их интерпретация.

Поскольку все показатели нормированы к единице, т.е. максимальное значение каждого показателя равно 1, то данная модель допускает простейшую геометрическую интерпретацию. В расчетной модели при увеличении показателя улучшается описываемый фактор, следовательно, наиболее высокая интегральная оценка будет у остановочных пунктов, более всего подходящих для трансформации в ТПУ.

По предложенной авторами методике высокая значимость присуждается остановочным пунктам, получившим интегральную оценку, равную эталонному значению (примем его = 0,75 и выше). Это пункты «ТЦ «Мега», «Дирижабль» и «Заводская». Также можно отметить близкие к интегральному значению остановочные пункты «Викулова» и «Высоцкого», которые расположены в шаговой доступности [14] от пунктов «Заводская» и «КОР», также попавших в группу АХ, АУ, ВХ.

Завершающим этапом методики является разработка мероприятий на основе верификации полученных результатов (рис. 5).

Наложение потенциальных ТПУ на карту города, а также анализ перспективной схемы Екатеринбургского метрополитена (рис. 6) позволяет сделать несколько выводов:

1. Мультимодальные транспортно-пересадочные комплексы должны располагаться на въезде/выезде из города вблизи остановочных пунктов с большим и стабильным пассажиропотоком.

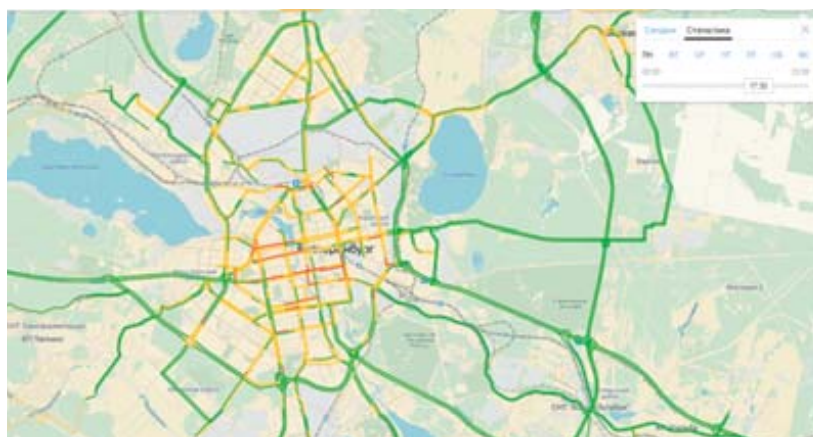


Рис. 4. Транспортная ситуация на дорогах города



Рис. 5. Месторасположение потенциальных ТПУ в г. Екатеринбурге

Таблица 3

### Расчет интегральной оценки

Остановочный пункт	$k_{соц}$	$k_{проб}$	$k_{эк}$	$I_0$
Дом кино (автобусы, трамваи, троллейбусы)	1,23	0,4 (средний балл 6)	1	0,492
Дирижабль (автобусы, метро, троллейбусы)	1,33	0,6 (средний балл 4)	1	0,798
Высоцкого (автобусы, трамваи)	1,22	0,6 (средний балл 4)	1	0,732
Викулова (автобусы, трамваи, троллейбусы)	1,23	0,6 (средний балл 4)	1	0,738
Заводская (автобусы, трамваи, троллейбусы)	1,23	0,7 (средний балл 3)	1	0,861
ТЦ «Мега» (автобусы)	1,11 (автобусы)	0,7 (средний балл 3)	1	0,777
Куйбышева (автобусы, трамваи)	1,22 (автобусы, трамваи)	0,4 (средний балл 6)	1	0,488
КОР (автобусы)	1,11 (автобусы)	0,6 (средний балл 4)	1	0,666
Институт связи (автобусы, троллейбус)	1,22 (автобусы, троллейбус)	0,5 (средний балл 5)	1	0,61

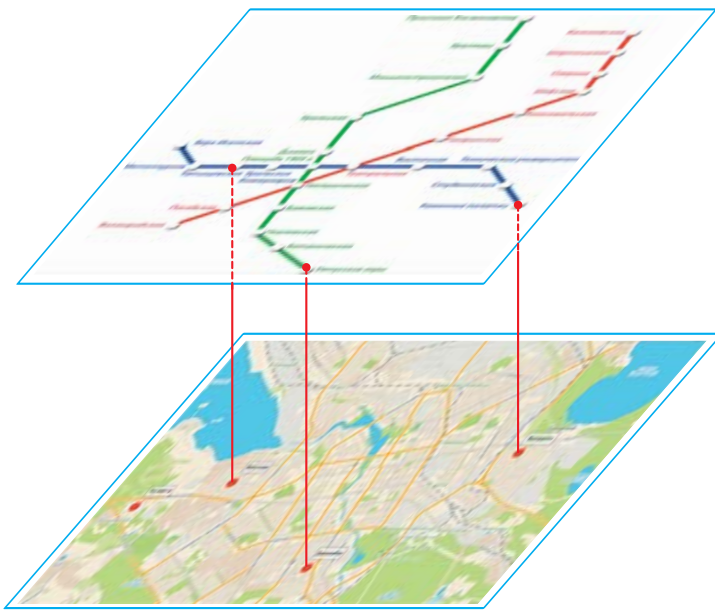


Рис. 6. Совмещенная схема перспективных станций метро и потенциальных ТПУ

2. Станции метро могут и должны быть интегрированы в систему ТПУ. Так, будущие станции метро «Татищевская» (вблизи «Викулова» и «Заводской») и «Каменные палатки» (вблизи «Высоцкого» и «КОР») имеют большой потенциал для организации на их базе транспортно-пересадочного узла. По плану строительства, данные станции будут многоуровневыми, с выходами

на улицы Татищева, Токарей и Мельникова («Татищевская»), а также с выходами на улицы Высоцкого и Сыромолотова («Каменные палатки») [15].

3. Остальные остановочные пункты (с интегральной оценкой ниже 0,75) следует оборудовать дополнительными услугами. Это могут быть теплые остановки с доступом к Wi-Fi, с пунктами быстрого питания и т. д.

## Выводы

Транспортно-пересадочные узлы являются важным элементом дружественной городской среды. Но процесс создания развитой сети ТПУ достаточно долгий. Где должны размещаться ТПУ и как городу максимально комфортно прожить переходный период «из города без ТПУ в город с развитой сетью ТПУ» — важный вопрос дня. Авторы рассмотрели возможность постепенного перевода существующих остановочных пунктов в ТПУ, для чего была проведена работа по оценке значимости остановочных пунктов города на основе комплексного подхода, включающего рассмотрение экономических, социальных и экологических факторов. Предложенная методика, несмотря на трудоемкость в сборе исходных данных, может быть использована для разработки стратегических планов городских агломераций. Разработанный подход, с акцентом на обеспечение в городах дружественного взаимодействия общественного транспорта, позволит выйти на новый уровень предоставления пассажирам транспортных услуг: быстрое, экономичное перемещение по городу, с бережным отношением к окружающей среде. **IT**

Работа частично поддержана РФФИ, проект 16-06-00464

## Список литературы

1. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2014). World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, CD-ROM Edition. POP/DB/WUP/Rev.2014/1/F01. — URL: <http://www.demoscope.ru/weekly/2015/0645/barom01.php>
2. URL: <http://www.demoscope.ru/weekly/2004/0163/barom02.php>
3. URL: <http://www.statdata.ru/russia>
4. Башкаев Т. И. Типология и классификация современных транспортно-пересадочных узлов // Архитектура и строительство России. — 2011. — № 5. — С. 22–29.
5. 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.
6. Gero Sholz. IT-systeme für Verkehrsunternehmen // IVU Traffic Technologies AG. — Berlin, 2010. — 345 p.
7. Vassilakou M. Public transport as the backbone of Vienna's urban development // Eurotransport. — 2014. — Is. 4. — P. 25–27.
8. Rak G., Lep M. Model of traffic access mode and railway station choice of suburban railway system in Slovenia // Transport problems. — 2014. — Vol. 9. — Is. 4. — P. 15–26.
9. Skibińska W. Dynamics of transportation development as a basis for the development of logistics in Poland // Polish Journal of Management Studies. — 2013. — Vol. 7. — P. 290–298.
10. Евреенова Н. Ю. Выбор параметров транспортно-пересадочных узлов, формируемых с участием железнодорожного транспорта: автореф. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. — М., 2014. — 24 с.
11. Лукинский В. С. Модели и методы теории логистики. — СПб.: Питер, 2008. — 448 с. — ISBN 978-5-91180-139-7.
12. 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.
13. Журавская М. А. «Зеленая» логистика — стратегия успеха в развитии современного транспорта // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. — 2015. — № 1 (25). — С. 38–48.
14. 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.
15. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Список\\_станций\\_Екатеринбургского\\_метрополитена](https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_станций_Екатеринбургского_метрополитена).



Нина Фридриховна  
Сирина

Nina F. Sirina



Валерий Валерьевич  
Зубков

Valeriy V. Zubkov

## Организация территориального управления эксплуатационной работой на регионе обслуживания железной дороги

### Organization of territorial management of operations in the service region of the railroad

#### Аннотация

Реформа системы управления, осуществляемая в ОАО «РЖД», обусловлена необходимостью полноценной адаптации российских железных дорог к рыночной экономике. Предыдущая структура, стабильно и рационально работающая на протяжении нескольких десятилетий, сформирована при совершенно других экономических и политических отношениях. Изменения производственных отношений на внутреннем рынке с учетом перспектив развития и потребностей государства во внешней политике корректируют и внутриорганизационные отношения ОАО «РЖД». При этом сохранение технологического единства, снижение несогласованных действий в перевозочном процессе региональных дирекций требует разработки организационного механизма территориального управления эксплуатационной работой на регионе обслуживания железной дороги.

**Ключевые слова:** регион железной дороги, эксплуатационная работа, корпоративная координация, самоорганизация.

DOI:10.20291/2311-164X-2016-2-22-26

#### Авторы Authors

Нина Фридриховна Сирина, д-р техн. наук, профессор кафедры «Вагоны» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: nsirina@usurt.ru | Валерий Валерьевич Зубков, первый заместитель начальника Забайкальской железной дороги — филиала ОАО «РЖД», Чита; e-mail: valeriyzubkov@inbox.ru

Nina Fridrikhovna Sirina, PhD in Engineering, Professor, Department "Rail Cars" of Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: nsirina@usurt.ru | Valeriy Valerievich Zubkov, first deputy head of Zabaikalskaya railroad — branch of RZD OJSC, Chita; e-mail: valeriyzubkov@inbox.ru

#### Summary

The management system reform performed in RZD OJSC is caused by the need to fully adapt Russian railroads to the market economy. The previous structure that ensured stable and reasonable operation during several dozens of years, was formed in the entirely different economical and political conditions. Changes in productive relationship on the internal market taking into account the growth perspective of the state in the internal policy correct intercompany relations in RZD OJSC as well. Preservation of technical integrity, reduction of uncoordinated actions of regional directorates in the transportation process requires development of an organizational mechanism of the territory management of operations in the service region of the railway.

**Keywords:** railway region, operations, corporate coordination, self-organization.



В условиях растущей конкуренции автомобильного, водного и воздушного видов транспорта функциональный подход в работе железной дороги не позволяет осуществить конечную перевозку по минимальной себестоимости. Каждый участник железнодорожной перевозки (Д, ДИ, Л, Т, ТЦФТО и т. д.) нацелен на выполнение собственных показателей, что резко снижает общую результативность и отражается в виде технологических барьеров, отсутствия цели на достижение общего результата и невысокого уровня взаимодействия.

На текущем этапе экономического развития России железнодорожный транспорт нуждается в иных инвестиционных инструментах, принципах экономического учета, производственных стимулах, способах руководства кадрами (рис. 1).

Современной альтернативой функциональному подходу в управлении железнодорожным транспортом является процессная модель деятельности структурных подразделений, направленная на достижение единого результата. В качестве инструмента, позволяющего выполнять функции в сфере корпоративной координации, создан региональный центр корпоративного управления (РЦКУ), которым является железная дорога — филиал ОАО «РЖД».

В этом статусе она наделена функциями контроля, корпоративной и технологической координации деятельности филиалов и их структурных подразделений.

РЦКУ осуществляет проработку общекорпоративных стратегических целей, определение единых политик, норм, правил и стандартов, детальный анализ, взаимную согласованность среднесрочных и долгосрочных целей филиалов и ДЗО ОАО «РЖД» на стадии планирования с детальным контролем их достижения на стадии выполнения. Эти функции в рамках единой корпоративной вертикали поручены начальнику железной дороги (Н), который наделен соответствующими полномо-

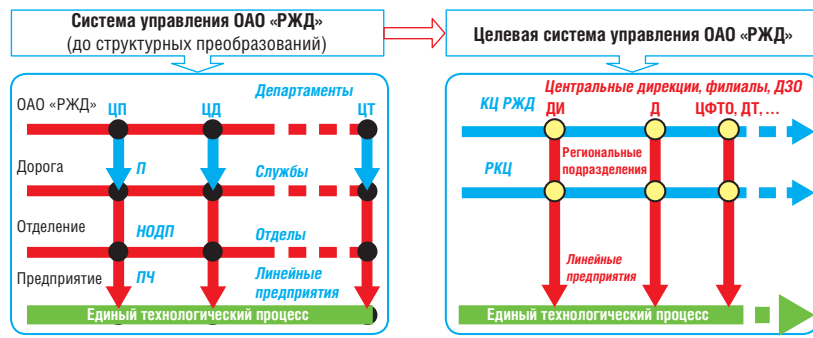


Рис. 1. Реорганизация системы управления ОАО «РЖД»

- административное управление;
- функциональное управление (технологическая и корпоративная координация);
- единый технологический процесс;
- — нормативная база;
- — регламенты взаимодействия и нормативная база по виду деятельности

Таблица 1

## Виды координации производственной деятельности предприятий

Корпоративная координация (КК)	Технологическая координация (ТК)
<p>Обеспечение согласованной операционной деятельности.</p> <p>Реализация единой стратегии, решение приоритетных задач.</p> <p>Проведение единых корпоративных политик в подразделениях, дочерних и зависимых обществах ОАО «РЖД»</p>	<p>Оперативный (в том числе ежесуточный и текущий) анализ выполнения планов эксплуатационной деятельности.</p> <p>Подготовка предложений по корректировке планов.</p> <p>Приведение к взаимному соответствию деятельности участников перевозочного процесса.</p> <p>Обеспечение экономической эффективности перевозочного процесса.</p> <p>Соблюдение требований безопасности движения и баланса интересов участников</p>

чиями. Начальник железной дороги стратегически направляет и координирует деятельность всех подразделений, в том числе и ДЗО, которые отвечают за достижение общего результата [1].

Реализация процессной модели в ОАО «РЖД» строится на безотделенческой структуре управления эксплуатационной работой. Для этого управленческие задачи, исполняемые руководителями и подразделениями упраздненных отделений железной дороги, в полном объеме учтены и перераспределены между органом управления железной дороги (территориальным управлением) и структурными подразделениями региона железной дороги. Тер-

риториальное управление железной дороги под руководством заместителя начальника железной дороги по территориальному управлению (НЗ ТЕР) осуществляет корпоративную и технологическую координацию структурных подразделений региона, не являясь владельцем технологического процесса. При этом непрерывный мониторинг и оперативную технологическую координацию осуществляют НТП, ТС, НКИ при взаимодействии региональных дирекций на дорожном уровне (рис. 2).

Организационная структура системы менеджмента территориального железнодорожного комплекса, в рамках которой осуществляется управление и технологическая

координация эксплуатационной работы на дорожном уровне производственной деятельности всех предприятий, направлена на обеспечение перевозочного процесса по удовлетворению потребностей в перевозках пассажиров, грузов, багажа и грузобагажа при безусловном обеспечении безопасности движения и сохранности перевозимых грузов. Оценочным показателем работы железной дороги является эффективное использование всех видов ресурсов при соблюдении требований охраны окружающей природной среды и нормативно-правовых документов железнодорожного транспорта.

В таких условиях важно обеспечить конкурентоспособность перевозочного процесса на основе финансовой стабильности, экономической эффективности. Крайне важно не допустить потери управляемости над подразделениями, осуществляющими свою деятельность в границах региона железной дороги. Внедряемая система управления и технологической координации должна не только обеспечивать эффективную деятельность, повышение качества эксплуатационной работы, развитие отношений с клиентами, партнерами, общественностью, органами власти, но и осуществлять обновление основных фондов, внедрение новых технологий. Поэтому процесс развития и технологической координации на регионе обслуживания железной дороги за счет вложений ресурсов ОАО «РЖД» в производство основан на самоорганизации [2]. Самоорганизация увязывает потенциал, доход, прибыль, вложения и целевую функцию региона железной дороги в целом, и тем самым достигается предпочтительное состояние перевозочного процесса [3].

Модель самоорганизующегося перевозочного процесса состоит из четырех уровней. На верхнем уровне находится орган регулирования развития. Он представлен РЦКУ. Третий и второй уровень объединяет самоорганизующийся элемент (СЭ). Он состоит

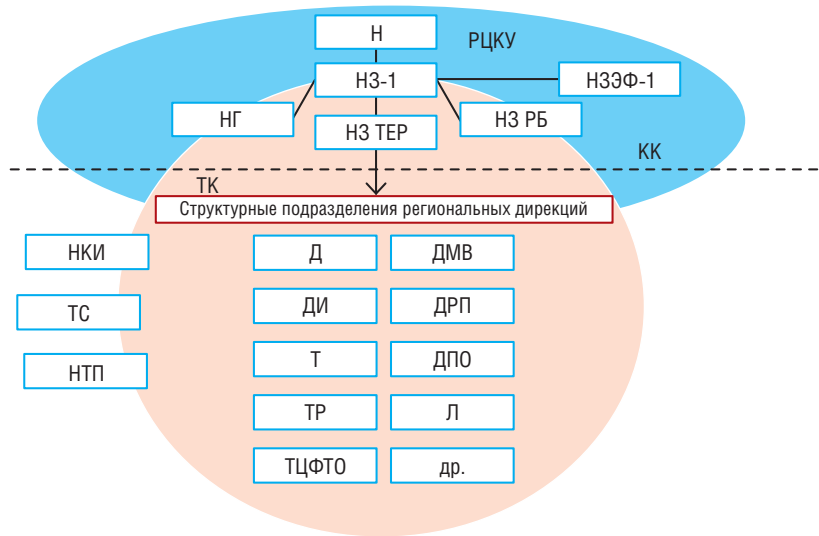


Рис. 2. Технологическая и корпоративная координация эксплуатационной работы на уровне железной дороги

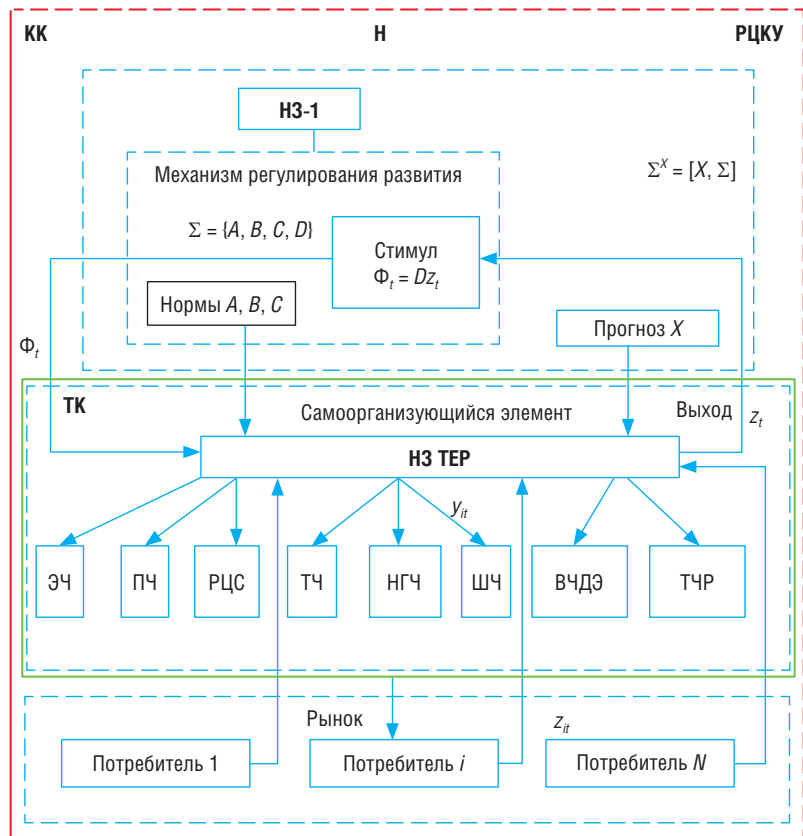


Рис. 3. Модель самоорганизации эксплуатационной работы на регионе железной дороги

из управляющего органа — заместителя начальника дороги по территориальному управлению (НЗ ТЕР) и исполнителей — структурных подразделений региональных дирекций: дистанции электроснабжения (ЭЧ),

эксплуатационного вагонного депо (ВЧДЭ), дистанции пути (ПЧ), дирекции по ремонту тягового подвижного состава (ТЧР), эксплуатационного локомотивного депо (ТЧ), станции (ДС) (далее — предприятие). На нижнем

уровне находятся потребители перевозочного процесса (рис. 3).

Состояние предприятий определяется параметрами:

$$A = (A_1, \dots, A_N), B = (B_1, \dots, B_N),$$

$$C = (C_1, \dots, C_N), D = (D_1, \dots, D_N).$$

При этом  $A_i$  — это прибыльность  $i$ -го предприятия  $A_i = (p_i - 3_i)(1 - r_i)g_i$ , где  $p_i$  — цена продукции;  $3_i$  — себестоимость продукции;  $r_i$  — ставка налога на прибыль;  $g_i$  — количество продукции.

Степень изношенности основных производственных фондов  $C_i$  определяется:  $C_i = 1 - \alpha_i k_i$ , где  $\alpha_i$  — норма амортизации;  $k_i$  — коэффициент амортизации.

Эффективность вложений в развитие перевозочного процесса  $B_i$  определяется:  $B_i = e_i(1 + S_i)$ , где  $e_i$  — эффективность вложений;  $S_i$  — поддержка вложений РКЦУ.

Доля прибыли, оставляемая НЗ ТЕР в распоряжении  $i$ -го предприятия, зависит от ставки налога на прибыль  $r_i$  и амортизационной льготы  $\beta_i$ :

$$D_i = 1 - r_i - \beta_i.$$

В процессе самоорганизации развитие  $i$ -го предприятия представляет собой изменение величины его потенциала  $q_i$  в зависимости от вложений  $y_i$  НЗ ТЕР. Потенциал предприятия зависит от вложений в предыдущих периодах:

$$q_{it+1} = C_{it}q_{it} + B_{it}y_{it}, C_{it} \geq 0, B_{it} \geq 0,$$

$$q_{i0} = q_i^0, q_i^0 \geq 0, i = 1, \dots, N, \quad (1)$$

где  $t$  — номер периода,  $t = 0, 1, \dots$

Доход  $i$ -го предприятия  $Z_{it}$  определяется его потенциалом:

$$z_{it} = A_{it}q_{it}, A_{it} \geq 0, i = 1, \dots, N. \quad (2)$$

Прибыль, остающаяся в распоряжении СЭ после налогообложения:

$$\phi_i = D_i z_{it}, D_i \geq 0, i = 1, \dots, N. \quad (3)$$

Общая прибыль, остающаяся в распоряжении СЭ после налогообложения всех  $N$  предприятия:

$$\Phi_t = \sum_{i=1}^N \phi_{it}.$$

Самоорганизация предполагает, что РКЦУ вкладывает в предприятие часть прибыли, полученной в периоде  $t$ :

$$\sum_{i=1}^N y_{it} = E \Phi_t, \quad (4)$$

где  $E$  — доля прибыли, используемая на вложения.

Вложения во все предприятия  $\bar{y}_t = (y_{1t}, \dots, y_{Nt})$  в промежутке  $t$  принадлежат множеству возможных вложений:

$$\bar{y}_t(\Sigma) = \left\{ \bar{y}_t = (y_{1t}, \dots, y_{Nt}) \mid q_{it+1} = \right. \\ \left. = C_{it}q_{it} + B_{it}y_{it}, \right.$$

$$z_{it} = A_{it}q_{it}, \phi_{it} = D_{it}z_{it},$$

$$\Phi_t = \sum_{i=1}^N \phi_{it},$$

$$\sum_{i=1}^N y_{it} = E \Phi_t, \tau = \overline{0, t-1},$$

$$q_{i0} = q_i^0, i = \overline{1, N}, t = 1, 2, \dots$$

Вложения СЭ представляют собой совокупность векторов вложений в периодах  $t, \dots, t + T - 1$ :  $y_t = (\bar{y}_t, \dots, \bar{y}_{t+T-1})$ , которые принадлежат множеству возможных вложений:

$$\bar{y}_t(\Sigma) = \bigcup_{\tau=t}^{t+T-1} \bar{y}_{t\tau}(\Sigma). \quad (5)$$

В периоде  $t$  СЭ выбирает вектор вложений  $\bar{y}_t$ ,  $\tau = t, \dots, t + T - 1$  так, чтобы максимизировать целевую функцию:

$$V_t = \sum_{\tau=t}^{t+T} \rho^{\tau-t} \Phi_{t\tau} \rightarrow \max, \quad (6) \\ y_{t\tau} \in Y_{t\tau}(\Sigma), \tau = t, t+T-1$$

где  $0 < \rho < 1$  — коэффициент дисконтирования.

Множество возможных состояний СЭ (5) и его целевая функция (6) зависят от механизма регулирования развития  $\Sigma = \{A, B, C, D\}$ . Поэтому и множество предпочтительных состояний СЭ  $y_t^*$  также зависит от этого механизма:

$$R_t(\Sigma) = \operatorname{argmax}_{y_t \in Y_t(\Sigma)} V_t. \quad (7)$$

Задача самоорганизации НЗ ТЕР состоит в определении оптимального состояния  $x$  и векторов  $A, B, C, D$ , обеспечивающих вложения СЭ, предпочтительные для РКЦУ.

Множество оптимальных для РКЦУ состояний СЭ определяется:

$$X = \{x \mid x = [\bar{x}_0, \dots, \bar{x}_F]\} = \\ = \operatorname{argmax}_{\bar{y}_0 \in \bar{Y}_0, \dots, \bar{y}_F \in \bar{Y}_F} \Lambda(\bar{y}_0, \dots, \bar{y}_F), \quad (8)$$

где  $\bar{x}_t = (\bar{x}_{1t}, \dots, \bar{x}_{Nt})$  — прогноз вектора оптимальных вложений в периоде  $t$ ;  $t = 0, \dots, F$ ;  $\Lambda = (\bar{y}_0, \dots, \bar{y}_F)$  — целевая функция РКЦУ (непрерывна и монотонно возрастает по  $y_{it}$ ,  $i = 1, \dots, N, t = 0, \dots, F$ ).

Периоды  $(F + 1)$ , в которых РКЦУ учитывает вложения СЭ, определяются как дальновидность РКЦУ. Необходимо построение механизма  $\Sigma^X$ , который обеспечивает максимум целевой функции РКЦУ на множестве вложений СЭ:

$$\max_{\Sigma^X \in G^X} \min_{[\bar{y}_t^*, \dots, \bar{y}_{t+T-1}^*] \in R_t(\Sigma), t=0, F} = \\ = \Lambda(\bar{y}_0^*, \dots, \bar{y}_F^*). \quad (7)$$

## Заключение

Применение самоорганизующегося элемента в процессной модели управления ОАО «РЖД» позволит обеспечить адресное обновление основных фондов инфраструктурных объектов ОАО «РЖД» в условиях самоорганизации эксплуатационной работы региона железной дороги на линейном и дорожном

уровнях управления. Предлагаемый механизм формирует комплексную ответственность участников перевозочного процесса на уровне территориального управления регионального центра корпоративного управления по итогам выполнения основных эксплуатационных показателей деятельности железной дороги в зоне географической ответственности самоорганизующегося элемента.

### Сокращения и условные обозначения

**КЦ РЖД** — центр корпоративного управления ОАО «РЖД».

**РКЦ** — региональный центр корпоративного управления.

**Н** — начальник железной дороги.

**НЗ-1** — первый заместитель начальника железной дороги.

**НЗФ-1** — первый заместитель начальника железной дороги по экономике, финансам и корпоративной координации.

**Зам. НГ** — главный инженер железной дороги.

**НЗ-РБ** — заместитель начальника железной дороги — главный ревизор железной дороги по безопасности движения поездов.

**НЗ ТЕР** — заместитель начальника железной дороги (по территориальному управлению).

**ТС** — технологическая служба железной дороги.

**НКИ** — служба корпоративной информатизации.

**НТП** — служба технической политики.

**Д** — региональная дирекция управления движением — структурное подразделение Центральной дирекции управления движением.

**ДИ** — региональная дирекция инфраструктуры — структурное подразделение Центральной дирекции инфраструктуры.

**ДРП** — дирекция по ремонту пути — структурное подразделение

Центральной дирекции по ремонту пути — филиала ОАО «РЖД».

**ДПО** — дирекция пассажирских устройств — структурное подразделение Центральной дирекции пассажирских устройств — филиала ОАО «РЖД».

**Т** — дирекция тяги — структурное подразделение Дирекции тяги — филиала ОАО «РЖД».

**ТЦФТО** — территориальный центр фирменного транспортного обслуживания — структурное подразделение ЦФТО.

**ТР** — дирекция по ремонту тягового подвижного состава — структурное подразделение ЦТР.

**Л** — служба по организации пассажирских перевозок.

**ДМВ** — дирекция моторвагонного подвижного состава — структурное подразделение ЦДМВ.

**ДПО** — дирекция пассажирских устройств — структурное подразделение ЦДПО. **ИТ**

### Список литературы

1. Распоряжение ОАО «РЖД» от 29.06.2010 г. № 1405р «О единой модели перехода железных дорог на безотделенческую структуру управления».
2. Сирина Н. Ф., Зубков В. В. Формирование модели управления регионом обслуживания железной дороги // Транспорт: наука, техника, управление : научн. информ. сборник РАН ВИНТИ. — М., 2012. — Вып. 3. — С. 40–43.
3. Сирина Н. Ф. Современные проблемы и задачи организации управления вагонным хозяйством [Текст] / Н. Ф. Сирина, В. В. Цыганов : Научное издание УрГУПС. — Екатеринбург : УрГУПС, 2005. — 89 с.

УДК 625.09



**Андрей  
Павлович  
Хоменко**

**Andrey P. Khomenko**



**Сергей  
Константинович  
Каргапольцев**

**Sergey K. Kargapoltsev**



**Ирина  
Юрьевна  
Сольская**

**Irina Y. Solskaya**



**Максим  
Юрьевич  
Богатов**

**Maksim Y. Bogatov**

## Непрерывное образование в международном контексте как инструмент инновационного развития железнодорожного транспорта

### Continuous education in the international context as a tool of innovative development of railway transport

#### Аннотация

Современное непрерывное образование все больше отходит от традиционной формы передачи знаний — пассивного слушания лекций и сдачи экзаменов. Изменения, связанные с быстрым развитием информационных и коммуникационных инструментов, коснутся двух направлений: обеспечения эффективности приобретения знаний и повышения их практической направленности (особенно при выполнении проектных работ), а также возрастающей роли личности (исследование программы в оперативном режиме).

**Ключевые слова:** непрерывное образование, инновационное развитие, информационные и коммуникационные инструменты, приобретение знаний, выполнение проектных работ, самостоятельные учебные программы.

#### Summary

Contemporary continuous education gradually breaks away from traditional knowledge transfer form — passive listening to lectures and passing examinations. Changes related to the rapid development of informational and communicational tools will touch upon two areas: ensuring the efficiency of knowledge acquisition and increase of its practical orientation (especially in the course of project tasks implementation), as well as the increasing role of a personality (examination of the program on the run).

**Keywords:** continuous education, innovative development, informational and communicational tools, knowledge acquisition, project tasks implementation, independent learning programs.

DOI:10.20291/2311-164X-2016-2-27-30

#### Авторы Authors

**Андрей Павлович Хоменко**, д-р техн. наук, профессор, ректор Иркутского государственного университета путей сообщения, Иркутск; e-mail: [homenko@irgups.ru](mailto:homenko@irgups.ru) | **Сергей Константинович Каргапольцев**, д-р техн. наук, профессор, проректор по научной работе Иркутского государственного университета путей сообщения, Иркутск; e-mail: [kck@irgups.ru](mailto:kck@irgups.ru) | **Сольская Ирина Юрьевна**, д-р экон. наук, профессор, проректор по инновациям и стратегическому развитию Иркутского государственного университета путей сообщения, Иркутск; e-mail: [solskaya\\_i@irgups.ru](mailto:solskaya_i@irgups.ru) | **Богатов Максим Юрьевич**, канд. полит. наук, начальник управления международного сотрудничества Иркутского государственного университета путей сообщения, Иркутск; e-mail: [bogatov\\_my@inbox.ru](mailto:bogatov_my@inbox.ru)

**Andrey Pavlovich Khomenko**, PhD in Engineering, Professor, Rector, Irkutsk State University of Railway Transport, Irkutsk; e-mail: [homenko@irgups.ru](mailto:homenko@irgups.ru) | **Sergey Konstantinovich Kargapoltsev**, PhD in Engineering, vice rector for academic work, Irkutsk State University of Railway Transport, Irkutsk; e-mail: [kck@irgups.ru](mailto:kck@irgups.ru) | **Irina Yurievna Solskaya**, PhD in Engineering, Professor, vice rector in innovations and strategic development, Irkutsk State University of Railway Transport, Irkutsk; e-mail: [solskaya\\_i@irgups.ru](mailto:solskaya_i@irgups.ru) | **Maksim Yurievich Bogatov**, PhD in Political Science, head of administration for international cooperation, Irkutsk State University of Railway Transport, Irkutsk; e-mail: [bogatov\\_my@inbox.ru](mailto:bogatov_my@inbox.ru)

Инновационное преобразование современных транспортных систем предполагает опережающее развитие системы подготовки кадров, в которой постоянно появляются новые сферы деятельности и профессии, формируются запросы на непрерывное совершенствование профессиональных квалификаций, адаптацию содержания образования к новым вызовам общества.

Вызовам инновационного развития транспортной отрасли должна адекватно отвечать образовательная система транспортного образования, в том числе и ее международная составляющая. Традиционная уровневая организация образовательных программ в современных условиях приобретает новое контекстное содержание и предполагает изначально возможность формирования индивидуальных образовательных траекторий как в рамках вузовских программ, так и на подготовительных уровнях довузовского и послевузовского обучения. Современная система предлагаемых университетских программ все более согласована с международными требованиями и по возрастной структуре, и по разнообразию предлагаемых программ. ИрГУПС активно участвует в экспорте образовательных услуг, направляя своих студентов на различные программы за рубежом [1] и привлекая иностранных студентов на обучение.

Непрерывность образования обеспечивается в ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения» в рамках реализации следующих базовых принципов, сформулированных в контексте Базельских соглашений:

- академическая мобильность обучаемых и преподавателей;
- гибкость образовательных траекторий [2];
- интегрируемость научно-образовательных программ;
- целевая направленность;
- инновационность научно-образовательных результатов.

Необходимо отметить основные образовательные достижения ИрГУПС, позволившие сформулировать указанные выше идеи:

1. Создание развитой инновационной образовательной инфраструктуры.

2. Тесные связи с транспортными предприятиями, в том числе и зарубежными, органами управления отраслью и государственной власти, сложившиеся в процессе реализации образовательных и научно-технических программ [3].

3. Широкие договорные отношения (по программам повышения квалификации и профессиональной переподготовки специалистов) с ведущими транспортными предприятиями, в том числе и зарубежными.

4. Система довузовского непрерывного образования.

5. Опыт разработки и внедрения новых форм и технологий обучения: рейтинговой системы, дистанционных технологий, центра оценки и мониторинга персо-

нала, технопарка, инженерного центра, учебно-экспериментального полигона, студенческого делового центра, центра инноваций и бизнес-образования, системы заочных сессий и конференций лицеистов.

6. Сложившаяся система воспитательной работы.

7. Значительный объем НИОКР, выполняемых в университете с участием студентов и аспирантов; наличие развитой структуры научных лабораторий, учебно-научных центров, студенческих научных обществ.

8. Наличие в университете развитой корпоративной вычислительной сети с выходами во внешние сети.

9. Связи ИрГУПС с зарубежными образовательными и научными учреждениями, инновационными предприятиями Германии, Великобритании, Польши, Китая, Республики Корея, Монголии; опыт выполнения совместных образовательных и научных проектов.

В Иркутском государственном университете путей сообщения одинаково реализуется весь цикл обучения по основным специальностям: практика — производство, кадровый рост — повышение квалификации — аспирантура — научная деятельность, т. е. задействованы все уровни профессионального образования и развития карьеры.

Наиболее ярким примером реализации инновационного подхода к транспортному образованию в международном контексте может служить многолетнее сотрудничество ИрГУПС с монгольскими транспортными предприятиями.

Рост экономики Монголии во многом зависит от деятельности железнодорожного транспорта, его инфраструктуры, уровня кадрового обеспечения. В программе развития монголо-российского акционерного общества «Улан-Баторская железная дорога» (АО «УБЖД») до 2021 года заложена стратегия опережающего роста инфраструктуры железнодорожного транспорта, включающая в себя строительство и модернизацию железных дорог, создание резерва производственных мощностей, обновление основных фондов, внедрение современных технологий, подготовку высококвалифицированных специалистов. Для решения кадровых задач инновационного развития транспорта Монголии восемь международных договоров о сотрудничестве связывают ИрГУПС с образовательными организациями, административными и транспортными структурами. Среди них монголо-российское АО «Улан-Баторская железная дорога», Единый центр управления перевозками Министерства дорог и транспорта Монголии, Монгольский государственный университет науки и технологии, Международный университет «Их Засаг», Центральный госпиталь Улан-Баторской железной дороги, строительный политехнический колледж им. Тлейхана, Институт медицинских технологий Государственного университета медицинских наук Монголии, Улан-Баторский институт железнодорожного транспорта.

Иркутский государственный университет путей сообщения 30 лет успешно сотрудничает с АО «Улан-Баторская железная дорога», которая является основной составляющей частью северного коридора Трансазиатской железнодорожной сети, важным транзитным коридором между Транссибирской магистралью и Китайской Народной Республикой. История развития международных связей Иркутского государственного университета путей сообщения с Монголией началась в 1986 году, когда девять граждан этой страны прибыли в университет на учебу по государственной линии. В 1992 году ИрГУПС подписал договор с российско-монгольским АО «Улан-Баторская железная дорога» о подготовке национальных кадров Монголии.

За 30 лет по программам подготовки специалистов путевки в жизнь получили 314 граждан Монголии, шестеро из них окончили аспирантуру для иностранных граждан, которая была открыта в 1995 году. В рамках договора о сотрудничестве между ИрГУПС и УБЖД вуз принимает ежегодно на обучение 20–25 человек на основные факультеты, а с открытием в вузе подготовительного отделения в 2006 году уже 30–45 человек поступают в университет на подготовительное отделение по программе довузовской подготовки. Количество граждан Монголии, желающих получить высшее образование и обучаться в аспирантуре университета, достигло в 2016 году 164 человека. Из них на подготовительное отделение на бюджетной основе поступили 25 граждан Монголии и на коммерческой — 16 человек. 22 гражданина Монголии поступили на первый курс ИрГУПС, из них на бюджет 5 человек. В настоящее время с первого по пятый курс в университете обучаются 135 граждан Монголии.

В мае 2008 года в Улан-Баторе было подписано очередное соглашение о сотрудничестве между АО «УБЖД» и ИрГУПС в образовательной, научно-технической и инновационной деятельности на 2008–2012 годы. Одним из результатов соглашения стало открытие в 2009 году филиала государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Иркутский государственный университет путей сообщения» в г. Улан-Баторе. После окончания подготовительного отделения по программе довузовской подготовки технического профиля выпускники отделения получают распределение во все университеты, подведомственные Росжелдору.

Филиал расположен на базе АО «УБЖД», располагает учебно-лабораторной базой площадью 1200 кв. м. В течение последних двух лет обучение ведется по унифицированным программам с привлечением как монгольских (математика, страноведение, физика), так и российских преподавателей (русский язык, начертательная геометрия, информатика, химия). Просторные классы оборудованы современными техническими средствами обучения: 43 компьютерами, интерактивной до-

ской, проектором. Библиотечный фонд филиала насчитывает 1500 экземпляров книг.

С 2009 года по настоящее время в филиале ИрГУПС в г. Улан-Баторе прошли обучение 250 слушателей.

В соответствии с планом целевой подготовки монгольских специалистов по железнодорожному специальностям УБЖД и ИрГУПС организуют довузовскую подготовку выпускников монгольских школ по общеобразовательным предметам и русскому языку, разрабатывают и внедряют программы дополнительного образования по направлениям, актуальным для железнодорожной отрасли Монголии.

С 2004 года по настоящее время осуществляется реализация дополнительных профессиональных программ (повышение квалификации, профессиональная переподготовка) на базе ИДПО ФГБОУ ВО ИрГУПС по всем направлениям железнодорожной отрасли для руководителей и специалистов акционерного общества «Улан-Баторская железная дорога». За этот период повысили квалификацию более 200 работников АО «УБЖД» и преподавателей Улан-Баторского института железнодорожного транспорта, из них:

- 67 человек совершенствовали знания и умения в вопросах финансово-экономических отношений;
- 50 специалистов в области организации перевозок, грузовой и коммерческой работы;
- 19 преподавателей института железнодорожного транспорта;
- 78 специалистов освоили новые технологии по ремонту и обслуживанию бесстыкового пути, новое в проектировании, строительстве и эксплуатации мостов, современные технологии ремонта вагонов и др.

В 2016 году прошли обучение по программе «Безопасность движения поездов» 15 специалистов Единого центра регулирования движения поездов при Министерстве дорог и транспорта Монголии. Выпускники университета работают на всех направлениях УБЖД, их труд заслуженно получает высокие оценки монгольской общественности.

Нельзя не отметить работу Ассоциации монгольских выпускников ИрГУПС, основная цель которой — укрепление корпоративных связей среди студентов и выпускников университета всех поколений, сплочение и социальное продвижение выпускников, их самореализация, повышение эффективности использования интеллектуального потенциала выпускников вуза, подготовка и переподготовка кадров, востребованных на рынке труда, успешных в карьерном росте.

Поставив задачу сформировать у студентов способность к творческой реализации профессиональных знаний, стремление к научному поиску, преподаватели университета вовлекают иностранных студентов в научную работу. Ежегодно монгольские студенты принимают

активное участие во Всероссийском смотре научных и творческих работ иностранных студентов, организаторами которого являются федеральное агентство по образованию, ассоциация иностранных студентов. Студенты проявляют научный интерес и творческие способности, исследуя тематику не только техническую, но и историческую: «Из истории строительства железной дороги Монголии», «Исторические предпосылки организации железнодорожного транспорта Монголии» (в работе межвузовской студенческой конференции в г. Омске), «История изысканий и проектирования Кяхтенской железной дороги».

Особое внимание в развитии международных связей университет уделяет участию преподавателей, специалистов и студентов в международных научно-практических форумах как на базе ИрГУПС, так и за рубежом. В 2015–2016 годах в ИрГУПС было проведено пять международных научно-практических конференций и семинаров. Важное место в развитии международных связей занимает международная научно-практическая конференция «Безопасность регионов — основа устойчивого развития», международный симпозиум «Инновации и обеспечение безопасности современных железных дорог». ИрГУПС и АО «УБЖД» активно сотрудничают в развитии одного из важнейших направлений деятельности железнодорожной отрасли — инновационного, что дает возможность не только организовывать эффективную совместную работу, но и позволяет сблизить наши позиции в информационном пространстве современных наукоемких прорывных технологий, что, в свою очередь, значительно помогает монгольским студентам-дипломникам в их дипломных работах рассматривать и вносить предложения по решению вопросов в соответствии с реальными проблемами, стоящими перед АО «УБЖД», а также привлекает монгольских аспирантов обучаться

в ИрГУПС по актуальной тематике. Заключая совместные договоры для реализации поставленных современностью задач, Иркутский государственный университет путей сообщения и АО «УБЖД» планируют конкретные мероприятия и сроки их выполнения. Так, например, в 2016 году в рамках международного сотрудничества заключен договор с Улан-Баторской железной дорогой на тему «Проведение эксплуатационных испытаний отремонтированных анаэробным материалом разработанных костыльных отверстий в деревянных шпалах».

Университет активно принимает участие в международных образовательных выставках, проводимых в Монголии, сотрудничает с Российским центром науки и культуры, пропагандируя русский язык и культуру.

Учитывая важность практической подготовки инженеров железнодорожного транспорта, университет уделяет пристальное внимание организации преддипломной практики студентов. В соответствии с договорами о взаимном сотрудничестве между ИрГУПС и УБЖД, базами преддипломной практики монгольских студентов являются предприятия ВСЖД и УБЖД.

Кроме того, в 2016 году впервые от вуза сформирован интернациональный студенческий строительный отряд «Байкал-Хубсугул» для работы на территории Монголии. Сводный отряд в составе 20 человек будет выполнять работы по строительству участка пути и текущему содержанию пути на Монгольской железной дороге. Отряд будет интернациональный, в его состав войдут студенты разных национальностей.

Развитие образовательной деятельности Иркутского государственного университета путей сообщения в международном контексте можно представлять в направлении расширения сферы научных и образовательных услуг, полагая при этом, что университет по праву считается базовой организацией по подготовке и переподготовке кадров для приоритетных отраслей Монголии. **ИТ**

### Список литературы

1. Сольская И. Ю., Хоменко А. П. Специфика формирования бизнес-компетенции в области инженерного образования // 35-й Международный симпозиум IGIP в сотрудничестве с IEEE / ASEE / SEFI, Таллинн, Эстония, 18–21 сентября 2006 г.
2. Формирование профессиональных компетенций инженеров транспорта в рамках проекта сотрудничества с компанией-работодателем // 8-й Международный симпозиум транспортных университетов в Европе и Азии. — Нанкин, Китай. — 2015. — С. 13–18.
3. Сольская И. Ю., Олинович Н. А. Повышение эффективности системы оперативного диспетчерского управления на ВСЖД — филиале ОАО «РЖД»: основные направления сотрудничества с ФГБОУ ВПО ИрГУПС // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2014. — № 4 (44). — С. 182–187.





**Валерий Михайлович Самуйлов**

**Valery M. Samuylov**



**Дмитрий Германович Неволин**

**Dmitry G. Nevolin**



**Владимир Евгеньевич Кошкарлов**

**Vladimir Y. Koshkarov**

## Инновационный метод проектирования и строительства ВСМ с использованием нежестких типов конструкций

### Innovative method for design and construction of high speed railroads using flexible types of structures

#### Аннотация

Увеличение скоростей движения, заявленных ВСМ (до 400 км/ч), требует пересмотра подходов к проектированию конструкций, используемым материалам и технологии устройства земляного полотна и верхнего строения железнодорожного пути. В статье предлагается решение, основанное на использовании нежестких типов конструкций в верхнем строении пути.

**Ключевые слова:** высокоскоростные магистрали, ровность, показатель ровности, асфальтобетон, резина, гранулометрический состав.

#### Summary

Increase in motion speed claimed by High speed railway (up to 400 km/h) requires revision of approach to structure design, materials and technology in use for construction of roadbed and upper structure of railway track. The solution is being proposed based on use of flexible types of structure in the upper layers of the track.

**Keywords:** high speed railway, evenness, evenness indicator, asphalt concrete, rubber, particle size composition.

DOI:10.20291/2311-164X-2016-2-31-37

#### Авторы Authors

**Валерий Михайлович Самуйлов**, д-р техн. наук, действительный член РАТ, профессор Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС) | **Дмитрий Германович Неволин**, д-р техн. наук, профессор, действительный член РАТ, заведующий кафедрой «Проектирование и эксплуатация автомобилей» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Владимир Евгеньевич Кошкарлов**, канд. техн. наук, специалист ГКУ СО «Управление автомобильных дорог», Екатеринбург

**Valery Mikhailovich Samuylov**, DSc in Engineering, full member of the RAT, Professor, Ural State University of Railway Transport (USURT) | **Dmitry Germanovich Nevolin**, DSc in Engineering, Professor, full member of the RAT, Head of "Design and Operation of Automobiles" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: [innotrans@mail.ru](mailto:innotrans@mail.ru) | **Vladimir Yevgenyevich Koshkarov**, PhD in Engineering, expert at GКУ SO "Automobile Roads Department", Ekaterinburg

При проектировании и строительстве ВСМ особое значение имеют надежность и ровность верхнего строения пути, обеспечивающие безопасность и эксплуатационные параметры высокоскоростного (200–400 км/ч) железнодорожного движения.

Ровность — одна из важнейших характеристик качества железнодорожной магистрали. Чтобы определить понятие «показатель ровности железнодорожной магистрали», необходимо сформулировать представление о неровностях железнодорожной конструкции. Неровности могут быть представлены отдельными изменениями геометрических параметров микропрофиля, а также изменениями неровностей большей длины, которые, очевидно, по-разному влияют на движущееся средство. Одна и та же поверхность может считаться ровной или неровной в зависимости от вида передвигающегося по ней транспортного средства и скорости его движения. Если по какой-

либо поверхности движется велосипед, то она, оцененная велосипедистом как ровная, может оказаться небезопасной для посадки самолета, летящего со скоростью около 200 км/ч. Все зависит от того, какие неровности влияют на параметры движения определенного вида транспорта и с какой скоростью этот транспорт передвигается. Очевидно, что для каждого подвижного состава, движущегося со скоростью 200–400 км/ч, существует свой диапазон неровностей (от микронеровностей до неровностей большой длины), который, безусловно, воздействует на движение состава и определяет его сход или несход с рельсов.

Увеличение скоростей движения, заявленных ВСМ (до 400 км/ч), требует определенного пересмотра подходов к проектированию конструкций, используемым материалам и технологии устройства земляного полотна и верхнего строения железнодорожного пути [1]. Предлагаются пути ре-

шения при проектировании и строительстве высокоскоростных магистралей, основанные на использовании асфальтобетона и асфальтобетонных конструкций в верхнем строении пути.

Для достижения требуемой надежности железнодорожной магистрали при скоростях движения 200–400 км/ч необходимо обеспечить заданную ровность (отклонение покрытия дорожной конструкции от истинной плоской поверхности) в пределах диапазона волн длиной 0,5–50 метров.

Что такое длина волны неровности при проектировании участка дороги? На рис. 1 представлены в сравнении волны неровности ВСМ.

Теоретические предпосылки обеспечения ровности ВСМ должны основываться на моделировании обратной реакции подвижного состава, движущегося со скоростью 400 км/ч по реально существующим неровностям, имеющимся на поверхности дорожной конструкции.

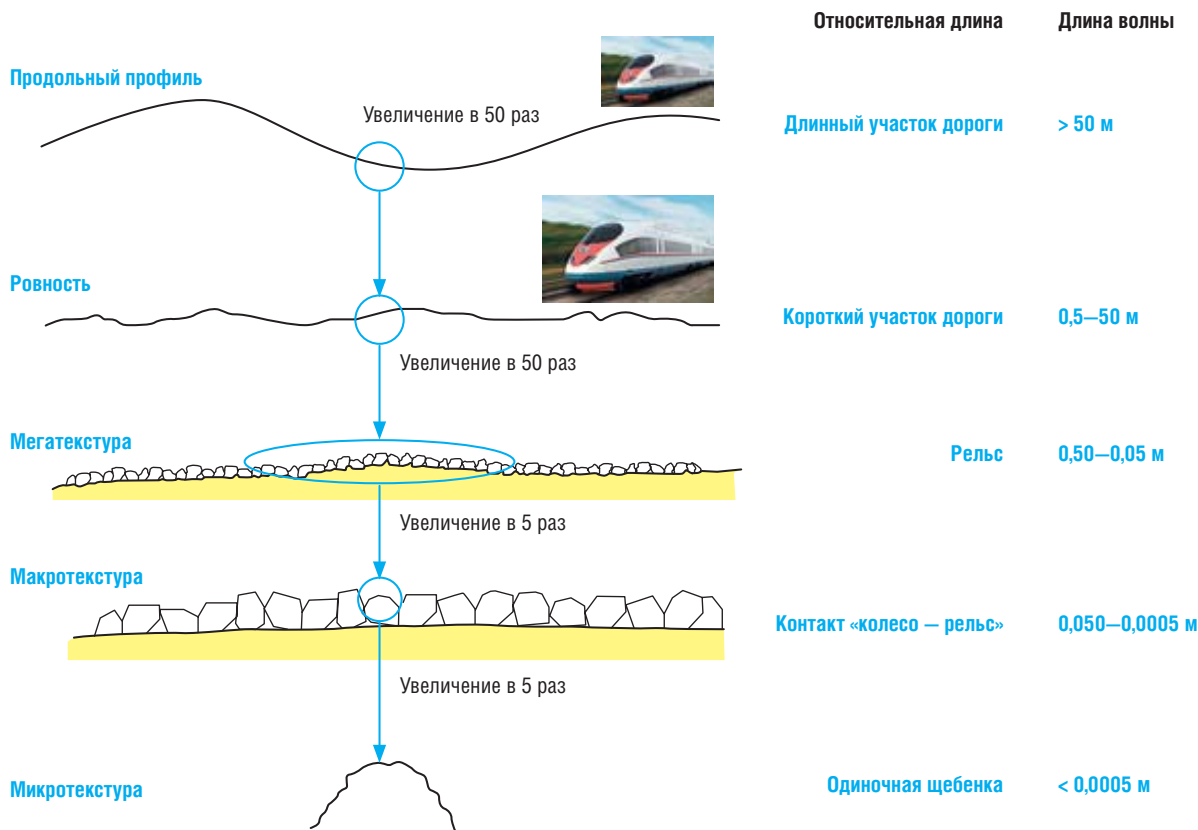


Рис. 1. Сравнительные свойства волн неровностей на участке ВСМ

Показатели ровности на примере автомобильных дорог количественно определяются по специальной методике моделирования движения автомобиля с использованием модели (рис. 2) и соответствующего ей программного обеспечения.

Уравнения движения модели представлены формулами:

$$\begin{cases} M\ddot{z} + B(\dot{z} - \dot{y}) + C_1(z - y) = 0 \\ m\ddot{y} - B(\dot{z} - \dot{y}) - C_1z + (C_1 + C_2)y = C_2q \end{cases}$$

Практическое обеспечение измерения и контроля ровности дорожной конструкции основывается на использовании высокоскоростных профилометров, лазерных датчиков и специальных дорожных машин по типу «Профилограф» (рис. 3).

На железнодорожных магистралях определены следующие требования к показателю ровности, установленные опытным путем:

- при скорости движения 400 км/ч — до 1 м/км;
- при скорости движения 200 км/ч — до 1,5 м/км;
- при скорости движения до 200 км/ч — до 3 м/км.

Проектирование продольного профиля следует проводить с учетом применяемых технологий, обеспечивающих максимальную ровность в условиях эксплуатации высокоскоростных железных дорог.

Китайский опыт проектирования высокоскоростных магистралей предусматривает использование железобетона в качестве монолитных плит для безбалластного верхнего строения пути. Однако данное решение не является приемлемым для климатических условий Центрального и Урало-Сибирского регионов Российской Федерации. Если рассматривать железобетон как композитный материал, то матрицей данного композитного материала является цементный камень. Структура цементного камня представляет собой жесткую кристаллическую решетку из гидросульфоалюминатов кальция (рис. 4).

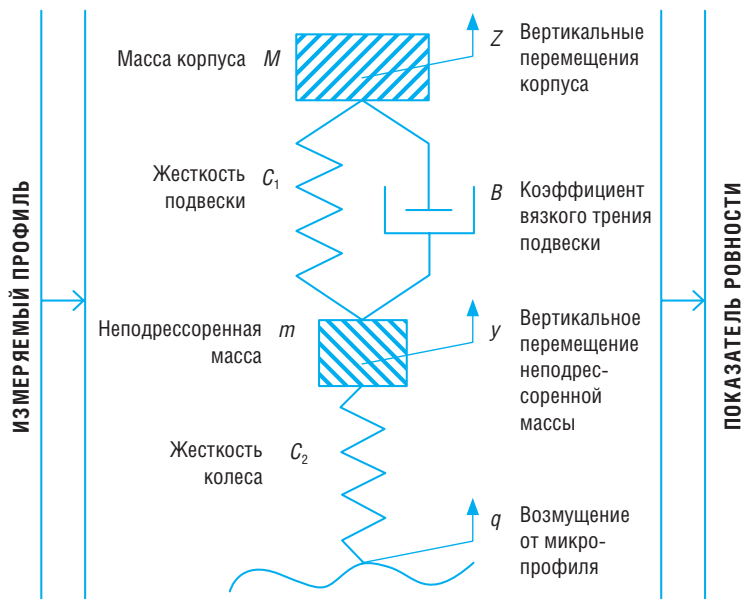


Рис. 2. Динамическая модель для определения ровности дорожного покрытия



Установка «Профилограф» предназначена для измерения продольной и поперечной ровности, колеиности и макротекстуры оснований и покрытий автомобильных дорог



- Основные технические данные:**
- ширина измерений — 3,30 м;
  - скорость движения при измерении ровности — 5–130 км/час, скорость движения при измерении макротекстуры — до 40 км/час;
  - погрешность измерения поперечного профиля — 1 мм/м (исключая наклонные лазеры);
  - погрешность измерения длины волны ± 0,5 %;
  - погрешность измерения текстуры — 0,1 мм/м.

Рис. 3. Практическое определение ровности дорожных покрытий

Именно эти кристаллы отвечают за связность и прочность конструкции железобетона. Они воспринимают все нагрузки и воздействия от подвижного состава и, постепенно накапливая напряжения, разрушаются. Из-за жесткости кристаллической решетки железобетон (и даже железополимербетон) характеризуется низким модулем температурного расширения. Нагреваясь, кристаллы цементного камня железобетона расширяются и уменьшаются, остывая. В практике применения железобетона для компенсации температурного расширения устраивают деформационные швы. Как правило, на 6 пог. м монолитной конструкций из железобетона требуется 1 см деформационного шва. Для монолитного безбалластного верхнего строения устройство деформационных швов является недопустимым, так как требуемые показатели ровности не будут достигнуты и безопасность высокоскоростного движения не будет обеспечена. На рис. 5 представлены температурные перемещения, разрушения железобетонной плиты вблизи деформационных швов.

Молекулярное строение асфальтобетона на основе полимерных и резиновых порошков исключает температурные изменения слоя [2]. Благодаря строению полисопряженных конденсационных связей асфальтовяжущего — полимера-резины, они позволяют добиться более точного соблюдения геометрии продольного и поперечного профиля на всем протяжении пути и исключить стыки и деформационные швы. На рис. 6 показана молекулярная структура конденсационных полисопряженных связей асфальтовяжущего — полимера-резины.

Для обеспечения ровности асфальтобетонных покрытий железнодорожных путей необходимо применение при строительстве:

- 1) 3D-слеющих систем на каждом слое дорожной конструкции;
- 2) широкозахватных асфальтоукладчиков, обеспечивающих наибольшую ровность и бестыковую укладку асфальтобетона;
- 3) перегружателей асфальтобетонной смеси для устранения температурной и гранулометрической сегрегации смеси; непрерывной загрузки асфальтоукладчиков;
- 4) шлифовальных фрез для коррекции макро- и микропрофиля асфальтобетонного слоя;
- 5) специальных составов на основе полимеров и резинобитумного вяжущего, высокопрочных фракционированных минеральных заполнителей, дисперсно-армированных сдвигоустойчивых материалов.

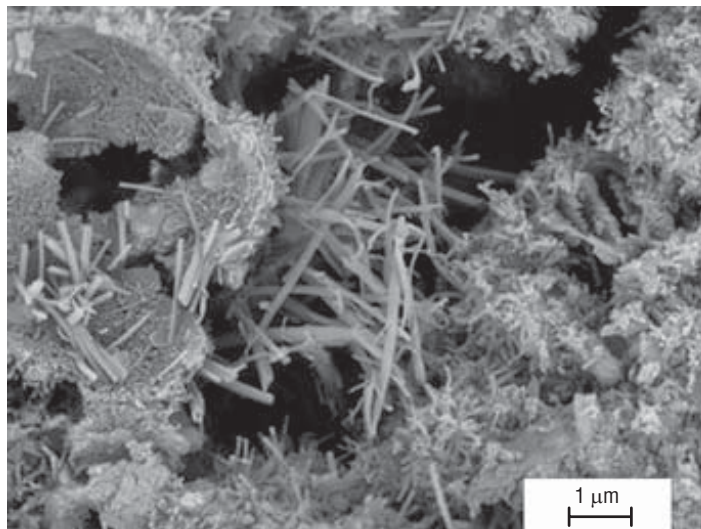


Рис. 4. Кристаллическая решетка гидросульфогидроалюминатов кальция цементного камня

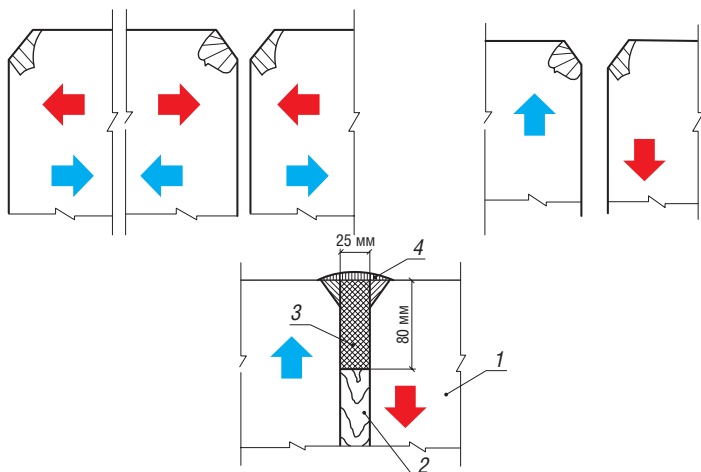


Рис. 5. Температурные перемещения, разрушения железобетонной плиты вблизи деформационных швов



Рис. 6. Молекулярная структура конденсационных полисопряженных связей асфальтовяжущего — полимера-резины

На рис. 7 представлено изображение и принципиальная конструкция скользящей лыжи для обеспечения ровности микропрофиля асфальтобетонного дорожного покрытия. По показателю IRI приведено моделирование ровности профиля дороги на участке длиной 3 км (рис. 8).

Достаточно высокую ровность верхнего строения железнодорожного пути обеспечивает применение асфальтобетонной конструкции и методов моделирования ровности при устройстве покрытия, например, использование скользящей лыжи на асфальтоукладчике. Типовая конструк-

ция строения железнодорожной магистрали в этом случае может иметь вид многослойной асфальтобетонной конструкции с подстилающими стабилизированными слоями из дискретных материалов, аналогично представленной на рис. 9. Данная конструкция с расчетными параметрами толщины слоев обеспечивает заданную для ВСМ прочность, надежность и сдвигоустойчивость.

Вид монолитного пути из асфальта, по зарубежному опыту, приведен на рис. 10.

В российских условиях разработка специальных асфальтобетонов для верхнего строения пути, повышающих стабильность железнодорожного полотна, особенно при высоких скоростях движения, является инновационной, но пока неапробированной перспективной научно-технической задачей. В зарубежной литературе и периодических изданиях отмечается, что такие покрытия могут впоследствии сменить классическое дискретное щебеночное верхнее покрытие пути [3]. Решающим изменением в конструкции является замена щебеночного основания на несущую бетонную плиту или несущий асфальтобетонный слой, в который может прочно монтироваться рельсошпальная решетка. На рис. 11 представлен вариант верхнего строения монолитного асфальтового пути с металлической рельсошпальной решеткой.

В ходе реализации ряда экспериментов транспортных проектов подобная конструкция железнодорожного пути впервые была апробирована в 1993 г. организацией «Германское единство» при строительстве Нантенбахской соединительной ветви на участке дороги Вюрцбург — Франкфурт и получила высокую оценку. При этом отмечается, что асфальтовый метод строительства является наиболее приоритетным и эффективным по сравнению с бетонным.



Рис. 7. Конструкция и вид скользящей лыжи, обеспечивающей контроль ровности микропрофиля

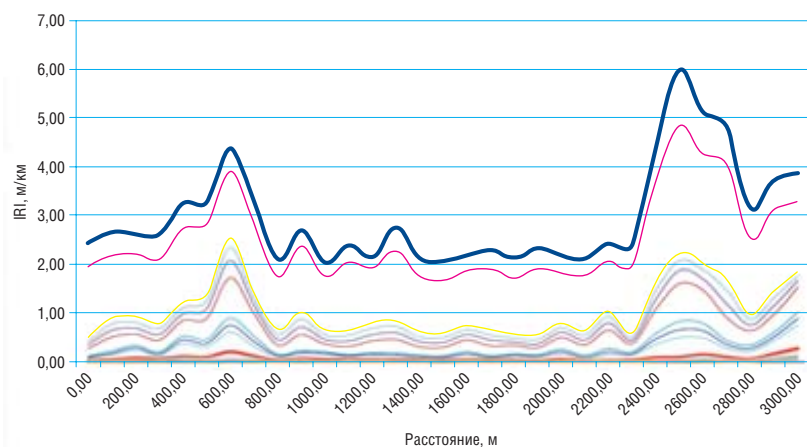


Рис. 8. Результаты моделирования применения скользящей лыжи на участке дороги

— IRI без фильтра; — фильтр 1 м; — 2 м; — 3 м;  
 — 4 м; — 5 м; — 6 м; — 7 м; — 8 м; — 9 м;  
 — 10 м; — 11 м; — 12 м; — 13 м; — 14 м;  
 — 15 м; — 16 м; — 17 м; — 18 м; — 19 м; — 20 м

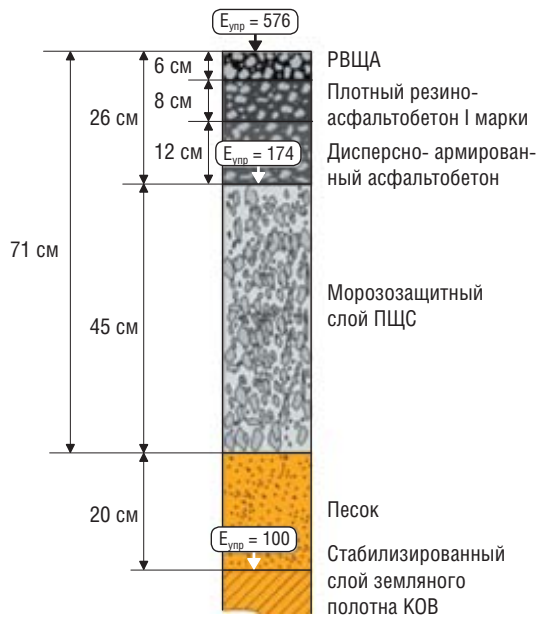


Рис. 9. Типовая конструкция (профиль) строения пути для железнодорожной магистрали



Рис. 10. Монолитный путь из асфальта



Рис. 11. Вариант верхнего строения монолитного асфальтового пути с металлической рельсоопальной решеткой

Преимущества монолитного асфальтового пути:

1) достижение комфортности езды и предотвращение изменений слоя благодаря точному соблюдению геометрии (продольного и поперечного профиля) на всем протяжении пути; отсутствие стыков и деформационных швов;

2) возможность достижения высокой ровности верхнего строения пути: до 1 м на 1 км (по методу IRI), что невозможно достичь на дискретном (щебеночном) покрытии, где погрешность в технологии может составлять +/- 1 см на 1 погонный метр, и достаточно сложно на бетонном;

3) обеспечение заданного упругого прогиба, формируемого физико-механическими свойствами асфальтобетона и особенностями эластичных пленок вяжущего;

4) обеспечение возвышения рельса выше 180 мм;

5) возможность регулирования креплений рельсов по высоте и сбоку для выравнивания легкой осадки;

6) простая и быстрая коррекция положения рельсового пути;

7) высокая механизация производства и строительства;

8) короткий срок строительства и укладки покрытия, ремонтпригодность;

9) высокие гидроизоляционные свойства и морозостойкость верхнего слоя и всего строения в целом;

10) длительный срок службы по сравнению с щебеночным и иным покрытием;

11) экономичность, технологичность и ремонтпригодность по сравнению с бетонным покрытием.

При подборе вяжущих и асфальтосоставляющих смешиваемых материалов существует техническая возможность установить срок службы асфальтового покрытия до 60 лет.

На рис. 12 проиллюстрировано производство работ по устройству верхнего строения асфальтобетонного покрытия при строительстве железнодорожного пути и фигурного профиля гидротехнического сооружения, что говорит о высокой технологичности метода.

В настоящее время акционерным обществом «Немецкая железная дорога» разработаны различные системы строительства с применением асфальтового метода (конструкции АТД, конструкции Вальтера, конструкции FFYS) (рис. 13).



Рис. 12. Производство работ по устройству верхнего строения монолитного асфальтового пути

Решающим критерием для выбора вида строительства монолитных асфальтовых железнодорожных путей является индивидуальный для каждого конкретного случая подбор состава асфальтобетона и расчет строения пути.

Рекомендации по составу асфальтобетонных смесей для устройства ВСМ:

1. Структура отдельных слоев должна быть бедной на пустоты для предотвращения дренирования воды с поверхности полотна. Помимо всего прочего увеличение срока службы определяется толщиной, покрывающей отдельно зерна клеевой пленки. Следовательно, в противоположность строительству покрытий для автомобильных дорог следует максимально увеличить содержание вяжущего.

2. Климатические влияния необходимо учитывать путем выбора подходящего вяжущего. Обычное дорожное вяжущее здесь не подойдет (из-за низкой вязкости и когезионной прочности) — необходимо комплексное, например, резинобитумное вяжущее (РБВ).

3. Методы подбора минеральной составляющей должны основываться на использовании узких фракций. Составы должны быть высокощеленистыми (количество щебня не менее 65–70%). Структура асфальтобетона должна быть контактной. Это предотвратит ползучесть асфальтобетона. Прерывистый состав обеспечит высокое сцепление зерен и высокий коэффициент внутреннего трения, перераспределение нагрузок и предотвращение пластических деформаций (рис. 14).

С целью внедрения инновационного способа строительства верхнего строения пути высокой ровности из асфальтобетонных материалов для



Рис. 13. Возможность соблюдения точной геометрии верхнего строения пути

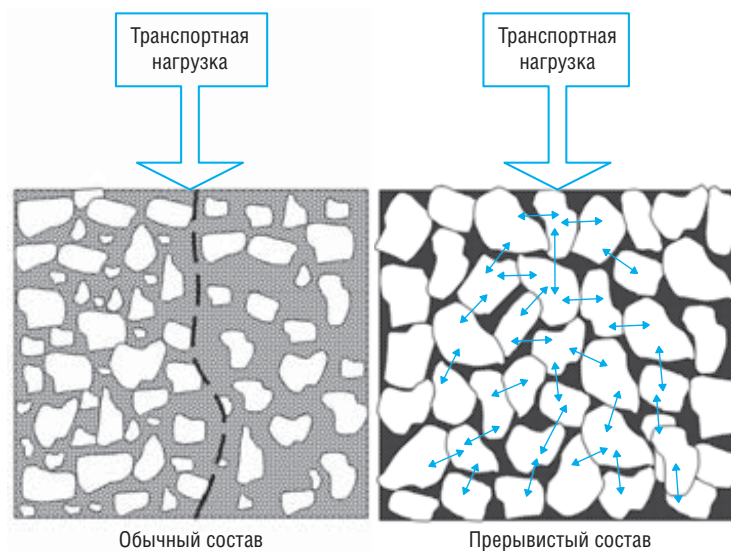


Рис. 14. Сравнение обычного (типового) и прерывистого (щебеночно-мастичного) составов асфальтобетонной смеси для верхнего строения пути

ВСМ необходимо проведение комплекса научно-исследовательских, опытно-конструкторских работ и натурных испытаний в российских климатических условиях. В результате следует разработать нормативную базу по внедрению в России монолитного асфальтового верхнего строения пути. Сроки подобных работ и внедре-

ния могут составить от 2 до 3 лет при целенаправленном осуществлении разработок. Испытательный центр УрГУПС и научно-технический потенциал университета позволит создать соответствующие условия для выполнения НИОКР по разработке и внедрению асфальтобетонного способа строительства ВСМ в сжатые сроки. **ИТ**

## Список литературы

1. Хученройтер Ю. Асфальт в дорожном строительстве / Ю. Хученройтер, Т. Вернер. — М. : ИД «АБД-пресс», 2013. — 450 с.
2. Научные основы организации инновационной деятельности на транспорте и в дорожном хозяйстве (теория, методология, практика) / В. М. Самуйлов,

А. Г. Галкин и др. — Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2012. — 189 с.

3. Технология обеспыливания автодорог на основе битумно-полимерных материалов : монография / Д. Г. Неволин, Вл. Е. Кошкар, Вас. Е. Кошкар. — Екатеринбург : УрГУПС, 2015. — 135 с.



Михаил Ростиславович  
Якимов

Mikhail R. Yakimov

# Инновационные технологии сбора данных интенсивности движения транспортных и пассажирских потоков

## Innovative technologies of data collection on traffic intensity and passenger flows

### Аннотация

Дан обзор основных методов сбора информации об интенсивности движения транспортных и пешеходных потоков. Предложен новый инновационный подход к сбору и обработке натурных данных об интенсивностях движения транспортных потоков с использованием мобильного приложения для смартфона и планшета. Приведен анализ преимуществ указанного подхода с точки зрения технологии и эффективности проведения работ. Описана область применения мобильных технологий сбора информации.

**Ключевые слова:** сбор данных, интенсивность движения, мобильное приложение.

DOI:10.20291/2311-164X-2016-2-38-41

### Annotation

A review of the main methods of collecting information on traffic intensity and passenger flows was done in this article. A new innovative approach to the collection and processing of field data on the intensities of traffic flow using a mobile app for smartphones and tablets was proposed. An analysis of the advantages of this approach in terms of technology and efficiency of operations was made. This article describes the scope of the mobile data collection technologies.

**Keywords:** data collection, traffic intensity, mobile application.

### Авторы Authors

*Михаил Ростиславович Якимов, д-р техн. наук, профессор Пермского национального исследовательского политехнического университета, директор Института транспортного планирования ОО «Российская академия транспорта», научный руководитель Агентства дорожной информации РАДАР, эксперт ООН*

*Mikhail Rostislavovich Yakimov, DSc in Engineering, Professor, Perm National Research Polytechnic University, Director of the Institute for Transport Planning, NGO "Russian Academy of Transport", Scientific Director of Radar Traffic Information Agency, UN expert*



Современные инструменты решения задач в области транспортного планирования, организации дорожного движения, парковочной политики, формирования маршрутной сети городского пассажирского транспорта общего пользования в обязательном порядке должны содержать в себе инструменты математического моделирования. Основная цель применения инструментов математического моделирования — это прогноз развития транспортной ситуации в связи с любыми изменениями в транспортной системе и реализации отдельных мероприятий.

Разработка инструментов моделирования включает в себя несколько важных этапов: сбор статистической информации, сбор натурной информации, проведение опросов жителей. Заключительным процессом создания транспортных моделей является калибровка транспортных моделей.

Процесс калибровки — один из самых важных этапов в создании транспортной модели. В процессе калибровки модели необходимо добиться максимальной близости результатов, полученных на основе моделирования, и данных, собранных в результате проведенных обследований интенсивности транспортных потоков.

Основным параметром, по которому производится оценка качества расчета транспортных моделей и их калибровка, является интенсивность движения транспортных потоков.

При первичном создании транспортной модели в любом городе требуется привлечь значительные ресурсы для сбора информации об интенсивности движения транспортных и пассажирских потоков. Причем сбор информации должен производиться в минимальное время и с минимальными затратами. В связи с этим на практике используются три основных метода сбора информации:

- 1) автоматический;
- 2) полуавтоматический;
- 3) ручной.

Автоматический метод сбора данных об интенсивности движения транспортных потоков заключается в сборе данных с детекторов учета транспорта. Такой способ актуален для участков улично-дорожной сети, где установлены детекторы учета транспорта различных типов. Существует множество детекторов, которые разделяются на типы по принципу их действия: инфракрасные, объемные, индукционные и т. д.

Полуавтоматический способ сбора информации заключается в том, что сбор информации осуществляется с помощью специального видеоборудования, которое позволяет производить съемку на всем обследуемом перекрестке, а обработка собранной информации производится вручную. При этом данные вносятся сразу в базу данных, т. е. отсутствует этап ввода собранных данных в контрольную карту. Сбор данных осуществляется с помощью камер видеонаблюдения, установленных на улично-дорожной сети.

Несмотря на массу преимуществ, автоматический и полуавтоматический методы оказываются неприемлемыми в силу дороговизны инструментария и сложности монтажа и установки этих систем.

В качестве выхода из ситуации в таких случаях используется обычный ручной метод, при котором непосредственный сбор данных производится учетчиками транспорта. Это специально обученные люди, которые стоят на перекрестках в течение дня и проводят замеры интенсивности движения с различных направлений. На практике используют различные способы подсчета транспортных средств натурным образом.

Ручной метод сбора данных при помощи учетчиков включает в себя два этапа сбора и обработки информации: работу в полевых условиях и камеральный этап. Стоимость сбора информации складывается из затрат на обучение учетчиков транспорта и их заработной платы. Кроме того, всех учетчиков необходимо обеспечить раздаточным материалом с методическими указаниями, картами местности, формами для заполнения и средствами безопасности (светоотражающие жилеты). Стоимость обработки информации включает в себя заработную плату операторов, обрабатывающих полученные данные.

Таким образом, каждый из рассмотренных способов сбора информации об интенсивности транспортных и пешеходных потоков имеет свои преимущества и недостатки. Наиболее точными данными об интенсивности движения транспортных потоков являются данные, полученные полуавтоматическим способом. Наиболее высокую погрешность (более 20%) показал метод сбора данных с использованием инфракрасных датчиков учета транспорта. Данные, полученные натурным способом, имеют меньшую погрешность — от 5 до 20% [1].

Для упрощения процесса сбора и обработки натуральных данных об интенсивности движения транспортных потоков было разработано мобильное приложение *Traffic counter*, которое позволяет отказаться от использования бумажных носителей информации, а также осуществлять оперативный контроль над учетчиками — их местонахождением и активностью.

Интерфейс мобильного приложения *Traffic counter* приведен на рис. 1.

Сейчас разработаны мобильные решения для таких платформ, как Android, Windows Phone, iOS (рис. 2).

После запуска приложения учетчик выбирает свой город и нужный перекресток. При подсчетах интенсивности движения транспортных и пешеходных потоков используется 9 кнопок, расположенных в три ряда по три кнопки. Каждый ряд кнопок соответствует одной системе транспорта: легковой, пассажирский, грузовой транспорт. Каждая кнопка соответствует направлению движения: налево, прямо, направо. Учетчик считает транспорт по 5 минут с каждого направления на перекрестке, нажимая ту или иную кнопку в зависимости от типа проезжающего автомобиля и направления, в котором он движется.

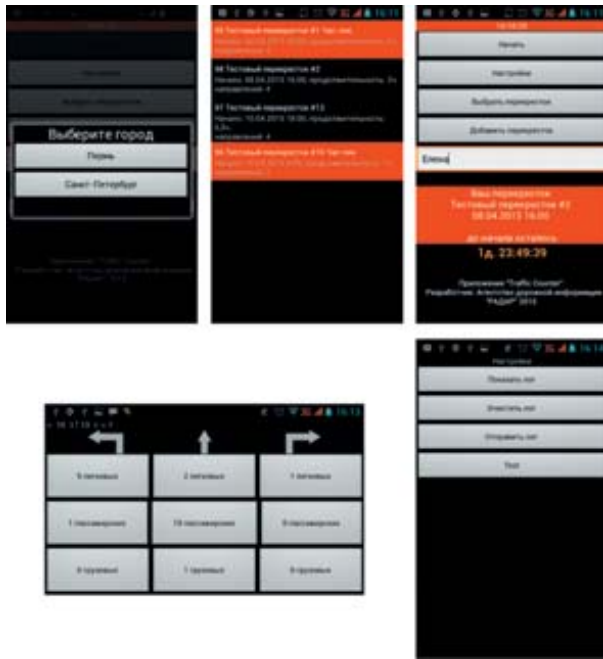


Рис. 1. Интерфейс мобильного приложения Traffic counter



Рис. 2. Мобильное приложение Traffic counter на смартфоне с операционной системой Android

После проведения подсчета на перекрестке учетчик отправляет данные на сервер, где в специальной базе данных хранится вся собранная информация. При загрузке на сервер с мобильного устройства данные приводятся к структуре, необходимой для хранения и импорта в транспортную модель, а также проверяются на возможные ошибки (рис. 3).

Далее с помощью специальной программы-загрузчика оператор транспортной модели импортирует данные непосредственно с сервера в транспортную модель. В транспортной модели собранные натурные данные привязываются к местам подсчета (рис. 4, 5).

На сегодняшний день предложенный метод сбора и обработки информации широко применяется в разных городах России. Так, приложение успешно использовалось летом 2014 г. при выполнении работ по обследованию пассажиропотоков на городских постоянных маршрутах и формированию предложений по оптимизации маршрутной сети в городе Улан-Удэ, осенью 2014 г. при выполнении работы по исследованию пассажиропотока на муниципальной дорожной сети городского пассажирского транспорта общего пользования города Кургана, а также зимой, весной, летом 2015 г. при выполнении работы по комплексному обследованию улично-дорожной сети и пассажиропотока города Томска.

Основными преимуществами мобильного приложения Traffic counter по сравнению с ручным подсчетом интенсивности движения транспортных и пешеходных потоков являются следующие:

- исключение этапа ручного ввода данных;
- отсутствие необходимости дополнительной обработки (проверки) собранных натурных данных;
- исключение возможности учетчика подделать результаты, нажимая кнопки не во время подсчета или не находясь на обследуемом перекрестке (мобильное приложение ведет лог геолокации и времени ввода данных);

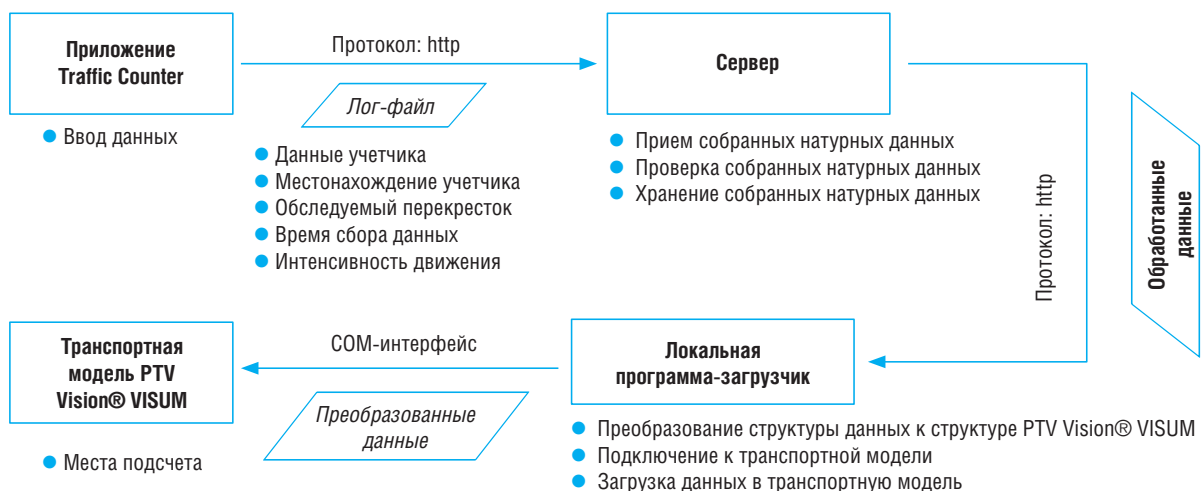


Рис. 3. Блок-схема функционирования системы сбора, обработки и хранения натурной информации с использованием мобильного приложения Traffic counter



Рис. 4. Импорт данных с сервера в транспортную модель

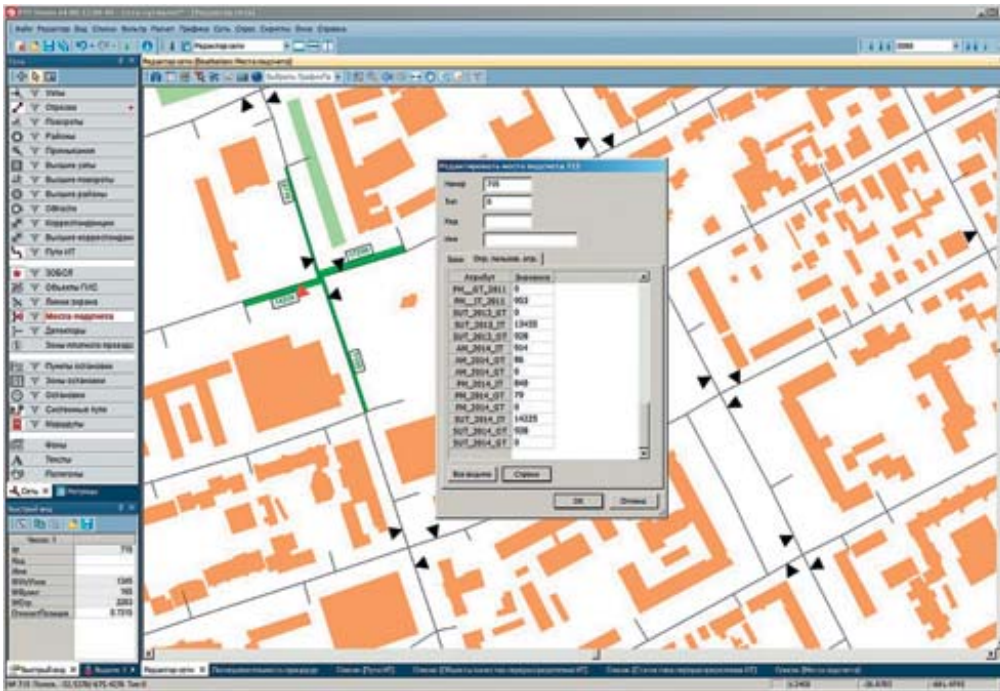


Рис. 5. Привязка натуральных данных к местам подсчета в PTV Vision® VISUM

- данные импортируются напрямую в параметры объектов «места подсчета» в транспортную модель.

Таким образом, данный метод позволяет объединить два этапа сбора и обработки информации об интенсивности движения транспортных и пешеходных потоков в один. Учетчик фиксирует количество проходящих пешеходов, пассажиров или транспортных средств в тех

или иных направлениях, а затем автоматически формирует базу данных. Применение такого способа сбора и обработки информации существенно сокращает временные и материальные затраты, а также позволяет получать более точную и объективную информацию об интенсивности движения транспортного потока на каждом перекрестке. [ИТ](#)

## Список литературы

1. Якимов М. Р., Кандалина Г. Н. Сравнительный анализ различных способов сбора информации об интенсивности транспортных и пешеходных потоков // Автотранспортное предприятие. — 2012. — № 10. — С. 22–29. — ISSN 2076–3050.



**Александр Ваноевич  
Микава**

**Aleksandr V. Mikava**



**Алексей Анатольевич  
Ковалев**

**Aleksey A. Kovalev**

## Разработка математической модели положения консоли по высоте опоры

### Development of mathematical model for bracket position by height of support

#### Аннотация

В статье приводится математическая модель на основе цепи Маркова. Математическая модель представляет собой последовательность случайных событий. Вероятность каждого события зависит только от состояния, в котором процесс находится в текущий момент, и не зависит от более ранних состояний. При помощи данной модели появляется возможность определить, на каком расстоянии от уровня головки рельса окажется консоль на опоре контактной сети в определенный момент времени.

**Ключевые слова:** консоль контактной сети, опора, математическая модель, матрица переходных вероятностей, измерения, уровень головки рельса, последовательность случайных событий.

#### Summary

The paper discusses the mathematical model based on the Markov chain. The mathematical model is a sequence of random events. The probability of each event depends solely on condition in which the process is currently, and doesn't depend on earlier states. By means of the model we have a possibility to determine on what distance from the rail head the bracket will be on the support of contact chain in a certain moment of time.

**Keywords:** contact chain bracket, support, mathematical model, transitional probability matrix, measurements, rail head level, sequence of random events.

DOI:10.20291/2311-164X-2016-2-42-49

#### Авторы Authors

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

*Aleksandr Vanoevich Mikava, post graduate student, Department of "Transport power supply", Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg | Aleksey Anatolievich Kovalev, PhD in Engineering, Associate Professor, Department of "Transport power supply", Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg*

Математическая модель положения консоли на основе марковского процесса дает возможность оценить, с какой скоростью идет изменение расстояния от уровня головки рельса до узла крепления консоли на опоре контактной сети. Это достигается за счет анализа последовательности случайных событий, где вероятность каждого события зависит только от состояния, в котором процесс находится в текущий момент, и не зависит от более ранних состояний (цепь Маркова). В качестве исходных данных используются результаты контроля некоторой физической величины. В данном случае — расстояние от уровня головки рельса до узла крепления консоли на опору контактной сети. Воспользуемся значениями измерений, выполненных на участке Свердловской железной дороги за 2014 и 2015 гг. с периодичностью 1 раз в полугодие. Необходимо взять выборку измерений с однотипного участка пути, например на 120 опорах, т. е. количество наблюдений равно 120.

На основе выборки потребуется построить гистограмму распределений измеренных значений. Для того чтобы построить гистограмму, рассчитаем число интервалов по формуле:

$$k = 5 \cdot \ln \frac{n}{10}, \quad (1)$$

где  $n$  — число наблюдений.

Получаем

$$k = 5 \cdot \ln \frac{120}{10} = 12,4.$$

Предпочтительнее выбирать число интервалов нечетным, так как при четном числе интервалов и островершинном распределении в центре гистограммы окажутся два столбца и середина кривой распределения предварительно уплотняется. Соответственно, принимаем  $k = 11$ .

Для получения более высокой точности и наглядности принимаем длину интервалов, равную 1 см, т. е.  $\Delta X = 10$  мм.

Из табл. 1 видно, что измерения не выходят за рамки значений от 8110 до 8220 мм. Полученные 120 измерений (расстояния от уровня головки рельса до узла крепления консоли) находятся в границах 11 интервалов. Соответствующее число попаданий в конкретный интервал ( $n_i$ ) также указано в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Число попаданий в интервал за первое полугодие 2014 г.

Границы интервалов, мм	8110-8120	8121-8130	8131-8140	8141-8150	8151-8160	8161-8170	8171-8180	8181-8190	8191-8200	8201-8210	8211-8220
Число попаданий в интервал, $n_i$	3	15	10	20	23	16	12	9	4	5	3
№ интервала	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Таблица 2

Число попаданий в интервал за второе полугодие 2014 г.

Границы интервалов, мм	8110-8120	8121-8130	8131-8140	8141-8150	8151-8160	8161-8170	8171-8180	8181-8190	8191-8200	8201-8210	8211-8220
Число попаданий в интервал, $n_i$	2	16	12	19	22	17	11	9	5	5	2
№ интервала	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

На основе данных табл. 1 и 2 построим гистограмму распределений полученных измерений в первом и во втором полугодиях 2014 г. (рис. 1).

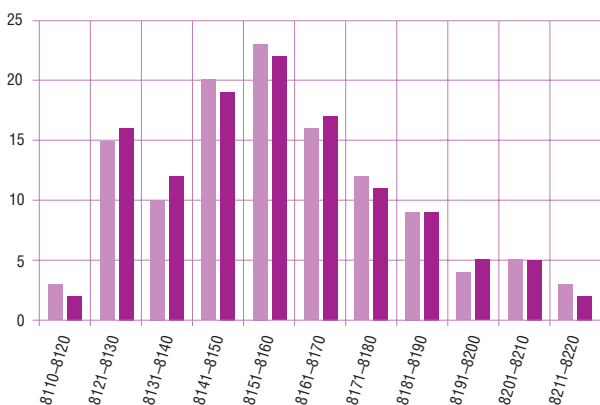


Рис. 1. Гистограмма распределения полученных измерений за первое и второе полугодие 2014 г.

■ — количество консолей в предыдущем состоянии;  
■ — количество консолей в последующем состоянии

Из гистограммы рис. 1 и табл. 1 и 2 видно, что расстояния от уровня головки рельса до узла крепления консоли во втором полугодии на участке из 120 опор изменились по сравнению с первым полугодием. За счет это-

го количество попаданий в тот или иной интервал перераспределилось. Таким образом, можно наблюдать последовательность случайных событий, где вероятность каждого события зависит только от состояния, в котором процесс находится в текущий момент, и не зависит от более ранних состояний (цепь Маркова). В данном случае событием является переход из одного интервала в другой в течение полугодия.

Известны результаты измерений в первом полугодии (предыдущее состояние) и во втором полугодии (последующее состояние), необходимо получить матрицу переходных вероятностей. Переходной вероятностью называют условную вероятность того, что из предшествующего состояния  $i$  система перейдет в последующее состояние  $j$ . Вероятность перехода из состояния  $i$  в состояние  $j$  определяется по формуле [1]:

$$p_{ij}(\tau) = n_{ij}(\tau) / [n_i(\tau - 1)], \quad (2)$$

где  $n_{ij}(\tau)$  — число консолей, наблюдаемых в состоянии  $i$  в момент  $\tau - 1$  и в состоянии  $j$  в момент  $\tau$ ;  $n_i(\tau - 1)$  — число консолей, наблюдаемых в состоянии  $i$  в момент  $\tau - 1$ .

Для наглядности построим матрицу переходных вероятностей в обыкновенных дробях (табл. 3). В числителе записывается  $n_{ij}(\tau)$ , а в знаменателе  $n_i(\tau - 1)$ .

Таблица 3

**Матрица переходных вероятностей (из первого полугодия 2014 г. во второе полугодие 2014 г.) вертикального положения консоли относительно уровня головки рельса в виде обыкновенной дроби**

Предыдущее состояние $i$ , мм	Последующее состояние $j$ , мм										
	8110-8120	8121-8130	8131-8140	8141-8150	8151-8160	8161-8170	8171-8180	8181-8190	8191-8200	8201-8210	8211-8220
8110-8120	2/3	1/3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8121-8130	0	14/15	1/15	0	0	0	0	0	0	0	0
8131-8140	0	1/10	9/10	0	0	0	0	0	0	0	0
8141-8150	0	0	2/20	17/20	1/20	0	0	0	0	0	0
8151-8160	0	0	0	2/23	20/23	1/23	0	0	0	0	0
8161-8170	0	0	0	0	1/16	15/16	0	0	0	0	0
8171-8180	0	0	0	0	0	1/12	10/12	1/12	0	0	0
8181-8190	0	0	0	0	0	0	1/9	7/9	1/9	0	0
8191-8200	0	0	0	0	0	0	0	1/4	3/4	0	0
8201-8210	0	0	0	0	0	0	0	0	1/5	4/5	0
8211-8220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1/3	2/3

В табл. 4 приведем матрицу переходных вероятностей в виде десятичной дроби.

Исходная матрица переходных вероятностей  $P = \{p_{ij}\}$  характеризует вероятность перехода процесса с текущим состоянием в следующее состояние, при этом сумма вероятностей переходов из одного состояния в другое равна единице [2]. Процесс окажется в состоянии  $i$  в момент времени  $n$ . Получить  $p^{(n)}$  можно с помощью формулы [2]:

$$p^{(n)} = p^{(0)} \times P^n. \quad (4)$$

Для того чтобы спрогнозировать, на каком расстоянии от уровня головки рельса будет располагаться узел крепления консоли через одно полугодие, необходимо возвести полученную матрицу в квадрат.

Прогнозируемая матрица переходных вероятностей представлена на рис. 2.

Таблица 4

**Матрица переходных вероятностей (из первого полугодия 2014 г. во второе полугодие 2014 г.) вертикального положения консоли относительно уровня головки рельса в виде десятичной дроби**

Предыдущее состояние $i$ , мм	Последующее состояние $j$ , мм										
	8110-8120	8121-8130	8131-8140	8141-8150	8151-8160	8161-8170	8171-8180	8181-8190	8191-8200	8201-8210	8211-8220
8110-8120	0,6667	0,3333	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8121-8130	0	0,9333	0,0667	0	0	0	0	0	0	0	0
8131-8140	0	0,1000	0,9000	0	0	0	0	0	0	0	0
8141-8150	0	0	0,1000	0,8500	0,0500	0	0	0	0	0	0
8151-8160	0	0	0	0,0870	0,8696	0,0435	0	0	0	0	0
8161-8170	0	0	0	0	0,0625	0,9375	0	0	0	0	0
8171-8180	0	0	0	0	0	0,0833	0,8333	0,0833	0	0	0
8181-8190	0	0	0	0	0	0	0,1111	0,7778	0,1111	0	0
8191-8200	0	0	0	0	0	0	0	0,2500	0,7500	0	0
8201-8210	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2000	0,8000	0
8211-8220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3333	0,6667

0,4444	0,5333	0,0222	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0,8778	0,1222	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0,1833	0,8167	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0,0100	0,1750	0,7268	0,0860	0,0022	0	0	0	0	0	0
0	0	0,0087	0,1495	0,7632	0,0786	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0,0054	0,1129	0,8816	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0,0052	0,1476	0,7037	0,1343	0,0093	0	0	0
0	0	0	0	0	0,0093	0,1790	0,6420	0,1698	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0,0278	0,3819	0,5903	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0,0500	0,3100	0,6400	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0,0667	0,4889	0,4444	0

Рис. 2. Матрица прогнозируемых переходных вероятностей (из второго полугодия 2014 г. в первое полугодие 2015 г.) вертикального положения консоли относительно уровня головки рельса

## Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

Эту расчетную матрицу нужно сравнить с матрицей, полученной экспериментальным путем. Потребуется построить матрицу переходных вероятностей, зная значения измерений в первом полугодии 2015 г., приведенные в табл. 5.

Гистограмма распределения измерений представлена на рис. 3.

Матрица переходных вероятностей с экспериментальными значениями в обыкновенных дробях представлена в табл. 6.

Матрица переходных вероятностей с экспериментальными значениями в обыкновенных дробях представлена на рис. 4.

Прогнозируемые и экспериментальные значения совпали с относительной погрешностью не более 9%, поэтому результаты, полученные при помощи математической модели на основе марковского процесса, можно считать достоверными.

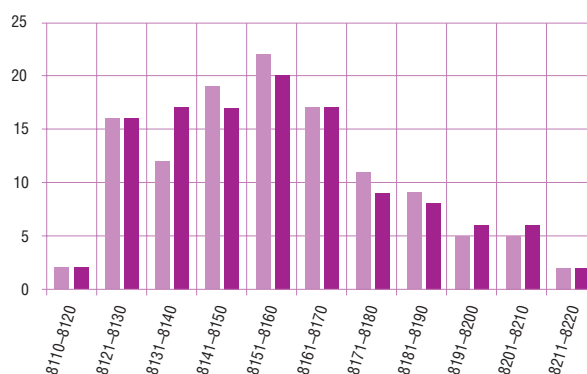


Рис. 3. Гистограмма распределения полученных измерений во втором полугодии 2014 г. и в первом полугодии 2015 г.  
 ■ — количество консолей в предыдущем состоянии;  
 ■ — количество консолей в последующем состоянии

Таблица 5

### Число попаданий в интервал (первое полугодие 2015 г.)

Границы интервалов, мм	8110-8120	8121-8130	8131-8140	8141-8150	8151-8160	8161-8170	8171-8180	8181-8190	8191-8200	8201-8210	8211-8220
Число попаданий в интервал, $n_i$	2	16	17	17	20	17	9	8	6	6	2
№ интервала	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Таблица 6

### Матрица переходных вероятностей (из второго полугодия 2014 г. в первое полугодие 2015 г.) вертикального положения консоли относительно уровня головки рельса в виде обыкновенной дроби

Предыдущее состояние $i$ , мм	Последующее состояние $j$ , мм										
	8110-8120	8121-8130	8131-8140	8141-8150	8151-8160	8161-8170	8171-8180	8181-8190	8191-8200	8201-8210	8211-8220
8110-8120	2/5	3/5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8121-8130	0	11/13	2/13	0	0	0	0	0	0	0	0
8131-8140	0	2/14	12/14	0	0	0	0	0	0	0	0
8141-8150	0	0	3/18	14/18	1/18	0	0	0	0	0	0
8151-8160	0	0	0	3/20	17/20	0	0	0	0	0	0
8161-8170	0	0	0	0	2/17	15/17	0	0	0	0	0
8171-8180	0	0	0	0	0	2/12	8/12	2/12	0	0	0
8181-8190	0	0	0	0	0	0	1/6	4/6	1/6	0	0
8191-8200	0	0	0	0	0	0	0	2/5	3/5	0	0
8201-8210	0	0	0	0	0	0	0	0	2/6	4/6	0
8211-8220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2/4	2/4



Для того чтобы спрогнозировать, на каком расстоянии от уровня головки рельса будет располагаться узел крепления консоли через еще одно полугодие, необходимо возвести матрицу, приведенную в табл. 4, в третью степень или матрицу, приведенную на рис. 4, во вторую

степень. Полученную матрицу запишем в виде десятичной дроби (рис. 5).

Необходимо построить матрицу переходных вероятностей, зная значения измерений во втором полугодии 2015 календарного года и число попаданий в интервал, представленных в табл. 7.

$$\begin{pmatrix} 0,4000 & 0,6000 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,8462 & 0,1538 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,1429 & 0,8571 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,1667 & 0,7778 & 0,0555 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,1500 & 0,8500 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,1176 & 0,8824 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,1667 & 0,6666 & 0,1667 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,1667 & 0,6666 & 0,1667 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,4000 & 0,6000 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,3333 & 0,6667 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5000 & 0,5000 \end{pmatrix}$$

Рис. 4. Матрица переходных вероятностей (из второго полугодия 2014 г. в первое полугодие 2015 г.) вертикального положения консоли относительно уровня головки рельса, полученная экспериментально в виде десятичной дроби

$$\begin{pmatrix} 0,2963 & 0,6481 & 0,0556 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,8315 & 0,1685 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,2528 & 0,7472 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,0268 & 0,2309 & 0,6253 & 0,1112 & 0,0058 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,0009 & 0,0228 & 0,1935 & 0,6760 & 0,1068 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,0005 & 0,0144 & 0,1536 & 0,8314 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,0005 & 0,0138 & 0,1972 & 0,6013 & 0,1654 & 0,0219 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,0006 & 0,0236 & 0,2205 & 0,5567 & 0,1986 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,0023 & 0,0656 & 0,4470 & 0,4851 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,0056 & 0,1164 & 0,3661 & 0,5120 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,0167 & 0,1478 & 0,5393 & 0,2963 \end{pmatrix}$$

Рис. 5. Прогнозная матрица переходных вероятностей (из первого полугодия 2015 г. во второе полугодие 2015 г.) вертикального положения консоли относительно уровня головки рельса в виде десятичной дроби

Таблица 7

### Число попаданий в интервал (второе полугодие 2015 г.)

Границы интервалов, мм	8110-8120	8121-8130	8131-8140	8141-8150	8151-8160	8161-8170	8171-8180	8181-8190	8191-8200	8201-8210	8211-8220
Число попаданий в интервал, $n_i$	2	17	16	16	19	18	9	9	6	6	2
№ интервала	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Гистограмма распределения измерений представлена на рис. 6.

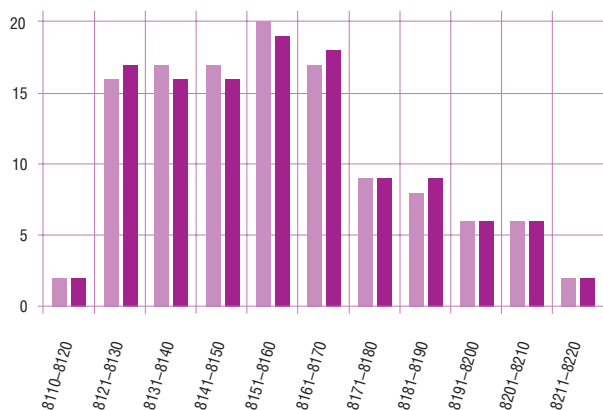


Рис. 6. Гистограмма распределения полученных измерений в первом полугодии 2015 г. и во втором полугодии 2015 г.

■ — количество консолей в предыдущем состоянии;  
 ■ — количество консолей в последующем состоянии

Матрица переходных вероятностей с экспериментальными значениями в обыкновенных дробях представлена в табл. 8.

Таким образом, имеются две матрицы с переходными вероятностями: одна — полученная экспериментально (рис. 7), при помощи натурных измерений, другая матрица — прогнозируемая (рис. 5), полученная путем возведения в степень исходной матрицы (табл. 4). Прогнозируемые и экспериментальные значения совпали с относительной погрешностью не более 9%, поэтому результаты, полученные при помощи математической модели на основе марковского процесса, можно считать достоверными.

Проанализировав последовательности случайных событий, где вероятность каждого события зависит только от состояния, в котором процесс находится в текущий момент, появляется возможность оценить, на каком расстоянии от уровня головки рельса окажется консоль на опоре контактной сети в определенный момент времени. **ИТ**

Таблица 8

**Матрица переходных вероятностей (из первого полугодия 2015 г. во второе полугодие 2015 г.) вертикального положения консоли относительно уровня головки рельса в виде обыкновенной дроби**

Предыдущее состояние $i$ , мм	Последующее состояние $j$ , мм										
	8110-8120	8121-8130	8131-8140	8141-8150	8151-8160	8161-8170	8171-8180	8181-8190	8191-8200	8201-8210	8211-8220
8110-8120	2/6	4/6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8121-8130	0	10/12	2/12	0	0	0	0	0	0	0	0
8131-8140	0	3/13	10/13	0	0	0	0	0	0	0	0
8141-8150	0	0	4/18	12/18	2/18	0	0	0	0	0	0
8151-8160	0	0	0	4/21	14/21	3/21	0	0	0	0	0
8161-8170	0	0	0	0	3/16	13/16	0	0	0	0	0
8171-8180	0	0	0	0	0	2/11	7/11	2/11	0	0	0
8181-8190	0	0	0	0	0	0	2/7	4/7	1/7	0	0
8191-8200	0	0	0	0	0	0	0	2/4	2/4	0	0
8201-8210	0	0	0	0	0	0	0	1/6	2/6	3/6	0
8211-8220	0	0	0	0	0	0	0	0	1/6	3/6	2/6

0,3333	0,6667	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0,8333	0,1667	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0,2308	0,7692	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0,2222	0,6667	0,1111	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0,1905	0,6667	0,1428	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0,1875	0,8125	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0,1818	0,6364	0,1818	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0,2857	0,5714	0,1429	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0,5000	0,5000	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0,1667	0,3333	0,5000	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0,1667	0,5000	0,3333

Рис. 7. Матрица переходных вероятностей (из первого полугодия 2015 г. во второе полугодие 2015 г.) вертикального положения консоли относительно уровня головки рельса, полученная экспериментально в виде десятичной дроби

## Список литературы

1. Ковалев А. А. Формирование управляющих воздействий на контактной сети с учетом процесса разрегулировок опор: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07: защищена 21.06.08: утв. 24.04.08 / Ковалев Алексей Анатольевич. — Екатеринбург, 2008. — 234 с.
2. Романовский И. В. Дискретный анализ : учеб. пособие / И. В. Романовский. — 3-е изд., перераб. и доп. — СПб. : Невский Диалект; БХВ Петербург, 2003. — 320 с. : ил. — ISBN 5-7940-0114-3.



**Александр Дмитриевич  
Петрушин**

**Aleksandr D. Petrushin**



**Дмитрий Николаевич  
Хомченко**

**Dmitriy N. Khomchenko**

## Обеспечение работоспособности тяговых электрических машин при организации тяжеловесного движения

### Ensuring good working order of traction electric machines when organizing heavy weight traffic

#### Аннотация

В статье приводится обоснование применения новой конфигурации скользящего контакта для коллекторов тяговых электродвигателей. Предлагаемое техническое решение позволит увеличить ресурс работы коллекторно-щеточного узла и обеспечить работоспособность тяговых электрических машин в условиях тяжеловесного движения.

**Ключевые слова:** тяжеловесное движение, коллекторная электрическая машина, искрение щеток.

#### Summary

The paper substantiates using a new configuration of sliding contact for collectors of traction electric motors. The proposed technical solution will allow to increase the resource of collector and brush assembly unit and provide good working condition of traction electric machines in the conditions of heavy weight traffic.

**Keywords:** heavy weight traffic, collector electric machine, brush sparking.

DOI:10.20291/2311-164X-2016-2-50-53

#### Авторы Authors

**Александр Дмитриевич Петрушин**, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Электрический подвижной состав» Ростовского государственного университета путей сообщения (РГУПС), Ростов-на-Дону; e-mail: alex331685@yandex.ru | **Дмитрий Николаевич Хомченко**, начальник технической службы Дирекции тяги — филиала ОАО «РЖД»; e-mail: dmitrij-khomchenko@yandex.ru

**Aleksandr Dmitrievich Petrushin**, PhD in Engineering, Professor, Head of department "Electric rolling stock", Rostov State University of Railway transport (RSURT), Rostov-on-Don; e-mail: alex331685@yandex.ru | **Dmitriy Nikolaevich Khomchenko**, Head of technical department, Directorate of traction -RZD branch; e-mail: dmitrij-khomchenko@yandex.ru

Организация тяжеловесного и длинносоставного движения связана с совершенствованием всех компонентов путевой инфраструктуры, системы тягового электроснабжения и подвижного состава с целью максимального использования возможностей каждой составляющей. При этом экономически выгоден будет вариант, когда характеристики всех компонентов будут согласованы, в том числе и по показателям надежности.

Тяговый двигатель (ТЭД) относится к компонентам подвижного состава, надежность которых оставляет желать лучшего. Выход из строя ТЭД приводит к остановке движения. Расходы на ликвидацию аварийной ситуации, связанной с выходом из строя ТЭД в пути следования, зависят от многих факторов: размера движения на участке, продолжительности задержки движения и других, но в любом случае составляют внушительную величину. Сохранение работоспособности ТЭД на должном уровне, его способности нормально выполнять заданные функции является актуальной задачей.

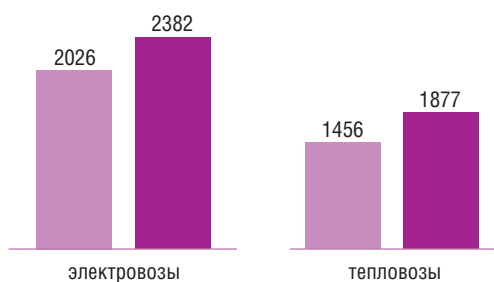


Рис. 1. Количество отказов электровозов и тепловозов из-за неисправностей ТЭД  
■ — 2014; ■ — 2015

В настоящее время на подвижном составе железных дорог России находятся в эксплуатации в основном коллекторные ТЭД постоянного и пульсирующего тока: немногим более 10 000 электровозов и примерно столько же тепловозов с коллекторными ТЭД. Доля коллекторных ТЭД в парке электровозов по отношению к бесколлекторным на конец 2015 г. составляла 98,4%, в парке тепловозов — 99,5%. [1]. Несмотря на стремление перейти на бесколлекторные ТЭД, в нашей стране основной тяговой единицей остается коллекторный ТЭД.

Опыт эксплуатации электровозов на железных дорогах России свидетельствует о том, что количество отказов из-за неисправностей ТЭД постоянного и пульсирующего тока достаточно высоко и продолжает расти. По данным анализа ОАО «РЖД» за первое полугодие 2015 г., общее количество отказов ТЭД локомотивов составило 4259 случаев, или от 4 до 5 случаев на 1 млн км пробега. За аналогичный период 2014 г. — 3482 случая, рост удельного показателя составил 24,6%. Из приведенных данных отказы ТЭД электровозов составили 2382 случая, ТЭД тепловозов — 1877 случаев (рис. 1) [1].

Наибольшее количество отказов приходится на ТЭД электровозов постоянного тока ТЛ-2К (ВЛ10, ВЛ11) и электровозов переменного тока НБ-418 (ВЛ80), НБ-514 (ВЛ85, ВЛ65, Э5К, Э3С5К, З3С5К), которые составляют основу парка действующего ЭПС. На рис. 2 представлены данные по общему числу отказов ТЭД в зависимости от их типа.

Наибольшее количество отказов ТЭД произошло на территории России с резко континентальным климатом: на Дальневосточной железной дороге — 813 случаев и на Западно-Сибирской — 683 случая.

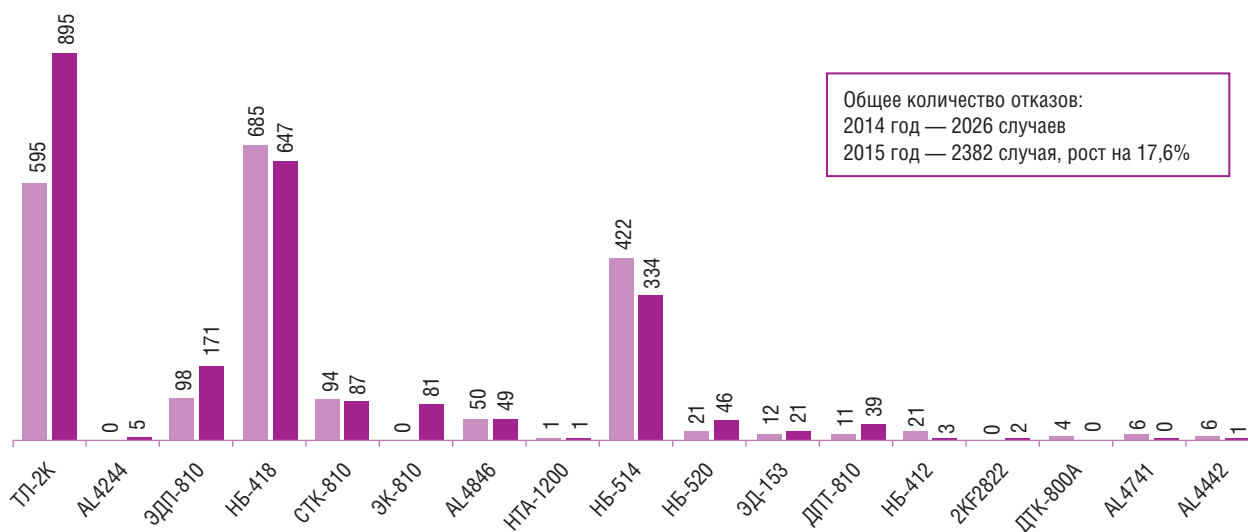


Рис. 2. Количество отказов в зависимости от типа ТЭД  
■ — 2014; ■ — 2015

Неисправности основных узлов ТЭД за первое полугодие 2015 г. представлены на диаграмме (рис. 3).

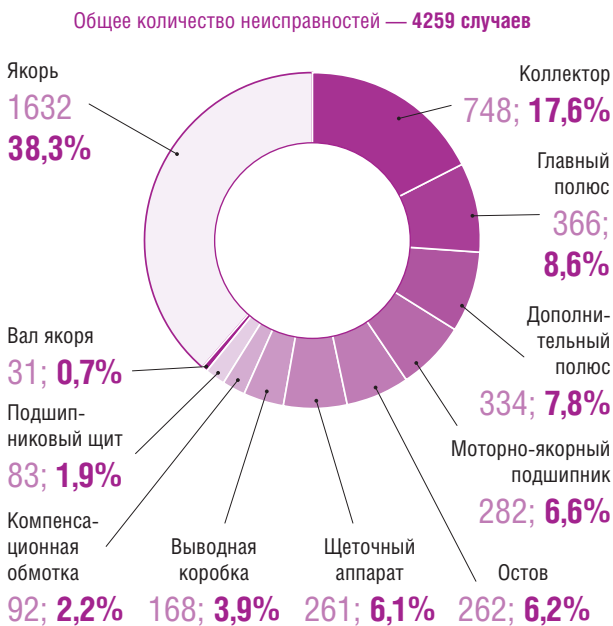


Рис. 3. Неисправности основных узлов ТЭД

Из диаграммы (рис. 3) видно, что доля неисправностей коллекторно-щеточного аппарата остается достаточно высокой — более 20 %.

Со времени принятия решения о переходе в нашей стране на бесколлекторные ТЭД быстро упал интерес исследователей к дальнейшему совершенствованию коллекторных ТЭД, число научных публикаций сократилось в разы, а тематика стала непрестижной. На наш взгляд, такая тенденция не отвечает экономическим интересам государства и компании ОАО «РЖД», поскольку коллекторные ТЭД до сих пор выпускаются электровазостроительными заводами и еще долгое время будут находиться в эксплуатации.

Одним из важных направлений улучшения качества коммутационного процесса и надежности коллекторно-щеточного узла является совершенствование его конструкции и улучшение свойств используемых материалов.

В 60-е и 70-е годы прошлого столетия интенсивно развивалась теория и практика коммутации машин постоянного тока. Отдельные идеи и технические решения не потеряли своей актуальности и в современных условиях могут быть востребованы. Так, свою эффективность на практике подтвердила идея О. Г. Вегнера [2], развитая впоследствии Р. М. Девликамовым [3], о необходимости заблаговременно установить ток секции ТЭД равным току в параллельной ветви якоря, в которую она вступает, благодаря чему секция подготавливается к безыскровому размыканию в реальных условиях неустойчивости скользящего контакта у сбегающей части щетки. Таким

образом, при оценке искрообразования под щеткой следует исходить из условий обстановки разрыва остаточного тока и особенностей протекания заключительной фазы коммутационного процесса [2]. Так появилось понятие «ступень малого тока», введенное О. Г. Вегнером, которое по смыслу обозначает пологий участок в конце кривой тока коммутации секций ТЭД.

Конфигурация и материал щеток могут играть активную роль в создании пологих участков в начале и конце кривой тока коммутации секций. В настоящее время известны следующие способы обеспечения пологого участка с малым током [3]:

- скос краев щеток;
- изменение распределения по ширине скользящего контакта его удельного сопротивления;
- раздвижка щеток;
- установка щеток, имеющих различный тангенциальный размер (размер щетки в направлении касательной к рабочей поверхности коллектора).

За основу предлагаемого технического решения [4] взят последний из изложенных вариантов — изменение размера щетки (рис. 4) и, соответственно, окна щеткодержателя. Для ТЭД пульсирующего тока НБ514Б, которые применяются на электровазозах 2ЭС5К «Ермак», и ТЭД НБ418К, используемых на электровазозах ВЛ80, разработана и прошла эксплуатационные испытания конструкция щеткодержателя, приведенная на рис. 5.

Конструкции щеткодержателей максимально унифицированы с серийными щеткодержателями, отличие составляют размеры крайних окон, которые по ширине меньше стандартных на 5 мм.

Для проверки эффективности работы опытных щеткодержателей в условиях эксплуатации они были смонтированы на тяговом электродвигателе электровазоза ВЛ80с № 1676 приписки эксплуатационного локомотивного депо СЛД-45 Каменоломни филиала «Южный» ООО «ТМХ-Сервис», Батайск. Были проведены эксплуатационные испытания, согласованные с Дирекцией по ремонту тягового подвижного состава и Дирекцией тяги — филиалами ОАО «РЖД».

Пробег электровазоза за период эксплуатационных испытаний составил 35 982 км. Электровазоз осуществлял эксплуатационную работу на Северо-Кавказской железной дороге на участках с уклонами до 12 тысячных (например, перегон Сулин — Лесостепь электровазоз проследовал в голове поездов, масса которых составила 6591 т, 6704 т, 6935 т), на Приволжской железной дороге на участках с уклоном до 18 тысячных (например, перегон Сухой Карабулак — Елховка электровазоз проследовал в голове поездов, масса которых составила 5979 т, 6227 т, 5921 т, 6257 т, 6275 т, 6223 т, 5870 т). Согласно данным программы АСУТ-Т-ЮГ, электровазоз эксплуатировался с поездами со средней массой 4026 т, максимальной массой 7271 т. Количество тяжеловесных поездов с массой 6000 т и выше составило 40 %.

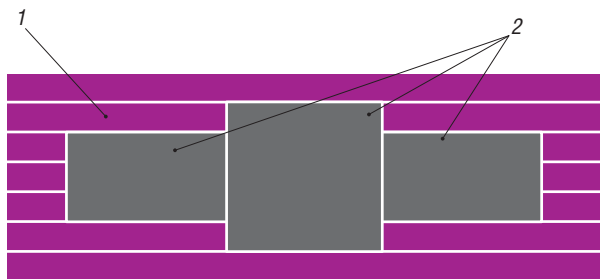


Рис. 4. Конструкция щеточного контакта для ТЭД пульсирующего тока:  
1 — коллектор; 2 — щетки

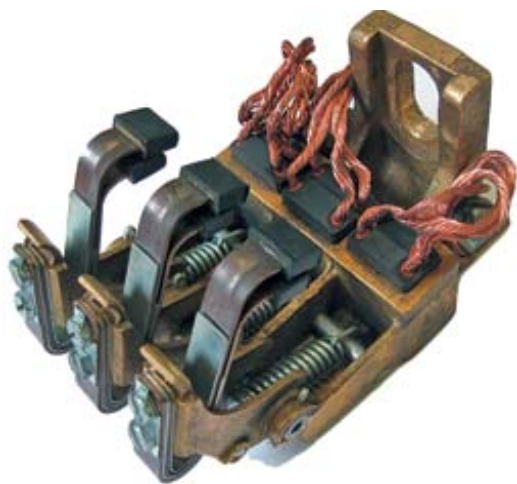


Рис. 5. Щеткодержатель с измененной конфигурацией щеток

После проведения испытаний и демонтажа щеток был измерен радиальный размер всех щеток, который характеризует их износ. Опытные щеткодержатели обеспечили снижение износа щеток в среднем на 48%. При этом предполагается, что износ коллектора также снизился, но он составил незначительную величину, соизмеримую с погрешностью средств измерения. Для контроля величины износа коллектора потребуются более длительные испытания, которые планируется осуществить позже. Также по результатам дальнейших испытаний необходимо набрать статистику появления круговых огней по коллектору и возможных сбоев работы приборов безопасности из-за неудовлетворительной коммутации и при перебросе дуги по коллектору ТЭД.

На износ щеток, помимо электрических факторов, влияет и ряд механических факторов, зависящих от качества настройки усилия нажатия на щетку, от состояния поверхности коллектора и ряда других, поэтому износ щеток на ТЭД неравномерный даже на одном щеткодержателе.

Уменьшение износа щеток в процессе эксплуатации двигателя с опытными щеткодержателями связано в основном со снижением влияния на искрение механических факторов, так как в процессе эксплуатации под влиянием механических факторов сбегаящие края щеток подвержены вибрации. При этом обрывается значительный ток, который вызывает повышенный искровой износ щеток. Однако при опытной конструкции щеткодержателей из-за того, что в кривой тока коммутации присутствует пологий участок на стадии завершения коммутационного процесса, происходит обрыв незначительного тока, и этим объясняется снижение искрового износа от влияния механических факторов.

## Выводы

Щеточный контакт, а именно его конструкция и геометрические размеры, оказывает существенное влияние на характер коммутации тока в короткозамкнутых секциях, и, целенаправленно меняя параметры щеток, можно заметно улучшить качество коммутации ТЭД. Коллекторно-щеточный аппарат ТЭД в значительной мере определяет работоспособность ЭПС и расходы на его эксплуатацию; замена щеток, проточка коллектора и последующая обработка его рабочей поверхности — весьма трудоемкие и дорогостоящие операции.

Проведенные исследования и эксплуатационные испытания опытной партии щеткодержателей показали, что при внедрении на электровозах с коллекторными ТЭД новых конструктивных решений по токосъемному узлу можно существенно повысить эксплуатационную надежность и получить следующие преимущества:

- снизить почти вдвое расход щеток;
- обеспечить увеличение межремонтных пробегов электровозов и ресурса работы коллекторно-щеточного узла ТЭД;
- обеспечить работоспособность ТЭД локомотивов на руководящих подъемах и при вождении тяжелых поездов. **ИТ**

## Список литературы

1. Хомченко Д. Н. Исследовательские испытания тяговых электродвигателей электровозов переменного тока / Д. Н. Хомченко // Труды РГУПС. — Ростов н/Д : РГУПС, 2015. — № 4 (33). — С. 155–158.
2. Вегнер О. Г. Теория и практика коммутации машин постоянного тока / О. Г. Вегнер. — М. : Госэнергоиздат, 1961. — 272 с.
3. Девликамов Р. М. Новые элементы теории токосъема с коллектора и рекомендации по их использованию на практике : монография / Р. М. Девликамов. — М. : Маршрут, 2011. — 221 с.
4. Патент № 2548908 Российская федерация, МПК H01R39/40. Щеткодержатель / Петрушин А. Д., Девликамов Р. М., Хомченко Д. Н. — № 2014103301 ; заявл. 31.01.2014 ; опубл. 20.04.2015.

УДК 625.1



**Геннадий  
Львович  
Аккерман**

**Gennadiy L. Akkerman**



**Мария  
Александровна  
Скутина**

**Maria A. Skutina**



**Александр  
Владиславович  
Калинин**

**Aleksandr V. Kalinin**



**Илья  
Евгеньевич  
Рыбинцев**

**Ilya E. Rybintsev**

## Бализа как средство контроля температурно-напряженного состояния рельсовых плетей, прогнозирования выброса и разрыва плети

### Balize as a method of thermally stressed condition control in the rail bars, forecast of rail bar blowout and rupture

#### Аннотация

Для повышения безопасности движения поездов необходим постоянный контроль за температурно-напряженным состоянием бесстыкового железнодорожного пути, в частности за выбросом и разрывом рельсовых плетей. Для достижения этой цели предложено использование бализы – устройства, позволяющего определять скорость и ускорение изменения температурных продольных механических напряжений. Методика измерения и расчета параметров представлена в статье.

**Ключевые слова:** бесстыковой железнодорожный путь, напряженное состояние, бализа, температура рельсов, схема передачи сигнала, выброс пути, разрыв пути.

#### Summary

To improve safety of railway traffic, incessant control of thermally stressed condition of seamless railway track is necessary, especially in regard to the blowout and rupture of rail bars. To this end, it is proposed to use a balise — device allowing to define speed and acceleration of longitudinal thermal mechanical stress variation. The measurement and parameter calculation method is presented in the paper.

**Keywords:** seamless railway track, stress condition, balise, rail temperature, signal transfer scheme, rail bar blowout, rail bar rupture.

DOI:10.20291/2311-164X-2016-2-54-61

#### Авторы Authors

**Геннадий Львович Аккерман**, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Путь и железнодорожное строительство» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Мария Александровна Скутина**, аспирант первого года обучения кафедры «Путь и железнодорожное строительство» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Александр Владиславович Калинин**, студент четвертого года обучения кафедры «Путь и железнодорожное строительство» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Илья Евгеньевич Рыбинцев**, студент четвертого года обучения кафедры «Путь и железнодорожное строительство» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

**Gennadiy Lvovich Akkerman**, DSc in Engineering, Professor, Head of Department “Railway track and construction”, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg | **Maria Aleksandrovna Skutina**, first year postgraduate student, Department “Railway track and construction”, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg | **Aleksandr Vladimirovich Kalinin**, fourth year postgraduate student, Department “Railway track and construction”, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg | **Ilya Evgenievich Rybintsev**, fourth year postgraduate student, Department “Railway track and construction”, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg



В современном мире конструкция бесстыкового железнодорожного пути является наиболее прогрессивной и совершенной.

При эксплуатации бесстыкового пути существует опасность появления продольных усилий, достигающих 1200–1400 кН, которые возникают вследствие резких изменений температуры в рельсовых плетях. Они могут привести к выбросу или разрыву рельсовой плиты, что представляет наибольшую опасность для движения поездов. В связи с этим необходима разработка системы контроля за напряженным состоянием рельсовых плетей и методики прогнозирования выброса и разрыва бесстыкового пути.

В настоящий момент существующие средства контроля за температурно-напряженным состоянием рельсовых плетей не позволяют спрогнозировать резких изменений напряжений в рельсовой плети. Кафедрой «Путь и железнодорожное строительство» УрГУПС предлагается устройство бализа (радиометка) [3–7], которое схематично представляет собой конусообразную трубку из рельсовой стали, что обеспечивает плотное соприкосновение устройства и рельса. Внутри трубки находится перегородка, с обеих сторон которой перпендикулярно друг другу установлены два тензочувствительных датчика, причем один из них расположен вдоль пути. Дополнительно на внутренней стенке по периметру закреплен датчик измерения температуры. Трубка с обеих сторон герметично закрыта пластиковыми крышками. В оголовочной части конуса располагается приемно-передаточное устройство (схема радиопередачи и анализа сигнала), автономный источник питания, обеспечивающий работу устройства при температуре от  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а также защиты координаты ее местоположения. Радиометка устанавливается на нейтральной оси рельса, со стороны меньшего диаметра, закрепляется металлической гайкой.

Сигнал с бализы должен передаваться на принимающее устройство,

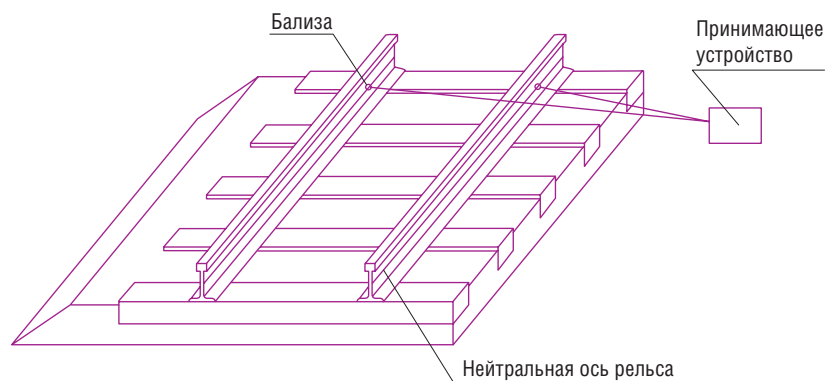


Рис. 1. Схема расположения бализы и передачи сигнала на приемное устройство

в котором также находится единая система обработки данных. Возможны два варианта расположения этого устройства:

- на опоре контактной сети;
- на проходящем подвижном составе.

Каждая бализа должна иметь свое имя (номер). Первая цифра в имени говорит о номере пути (четный или нечетный), вторая — о порядковом номере на конкретном пути. Необходимо отметить, что по одной рельсовой нитке четные числа, а по другой — нечетные. Предусмотрен разделительный знак — точка.

Также предлагается алгоритм электронной схемы работы бализы (рис. 2), в котором радиометка определяет напряжения, изменения напряжений, скорость и ускорение изменений напряжений:  $\sigma, \Delta\sigma, \frac{d\sigma}{dt}, \frac{d^2\sigma}{dt^2}$ . Сигнал дискретный. Интервал зависит от напряжения, скорости и ускорения изменения этих величин

$$\Delta t = f(\sigma, V, a),$$

где  $t$  — время;  $\sigma$  — напряжение в рельсе на нейтральной оси;  $V$  — скорость изменения напряжений за время  $t$ ;  $a$  — ускорение изменения напряжений.

Скорость изменения температурных напряжений нужна для прогнозирования роста или падения температурных напряжений в рельсовых плетях. Если рассматривать необходимость и значимость данной

величины с практической точки зрения, то очевидно, что возможность прогнозирования температурных напряжений в совокупности с бализой (радиометкой) позволит создать комплекс, необходимый для бесперебойного автоматизированного контроля за бесстыковым путем.

На кафедре «Путь и железнодорожное строительство» УрГУПС были проведены испытания для определения функции скорости изменения напряжения в рельсе.

Сначала был проведен расчет температурных напряжений в плети в течение 14 часов, на основании данных по температурам рельсовой плети, взятых из нормативного документа [1] в солнечный день летом. По результатам, максимальное температурное напряжение [2] приходится на 16:00 и составляет 111,51 МПа ( $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Допускаемое напряжение составляет 190 Мпа.

На основании расчетов была построена зависимость температурных продольных напряжений от температуры (рис. 3), по которой была установлена функциональная зависимость температурных напряжений от времени.

Получившаяся зависимость представляет собой полиномиальную функцию третьей степени с коэффициентом корреляции  $R^2 = 0,99498$ .

$$\sigma = -0,12965x^3 + 2,22922x^2 - 1,68831x + 32,07240. \quad (1)$$

Г. Л. Аккерман, М. А. Скутина, А. В. Калинин, И. Е. Рыбинцев | Балеза как средство контроля температурно-напряженного состояния рельсовых плетей...

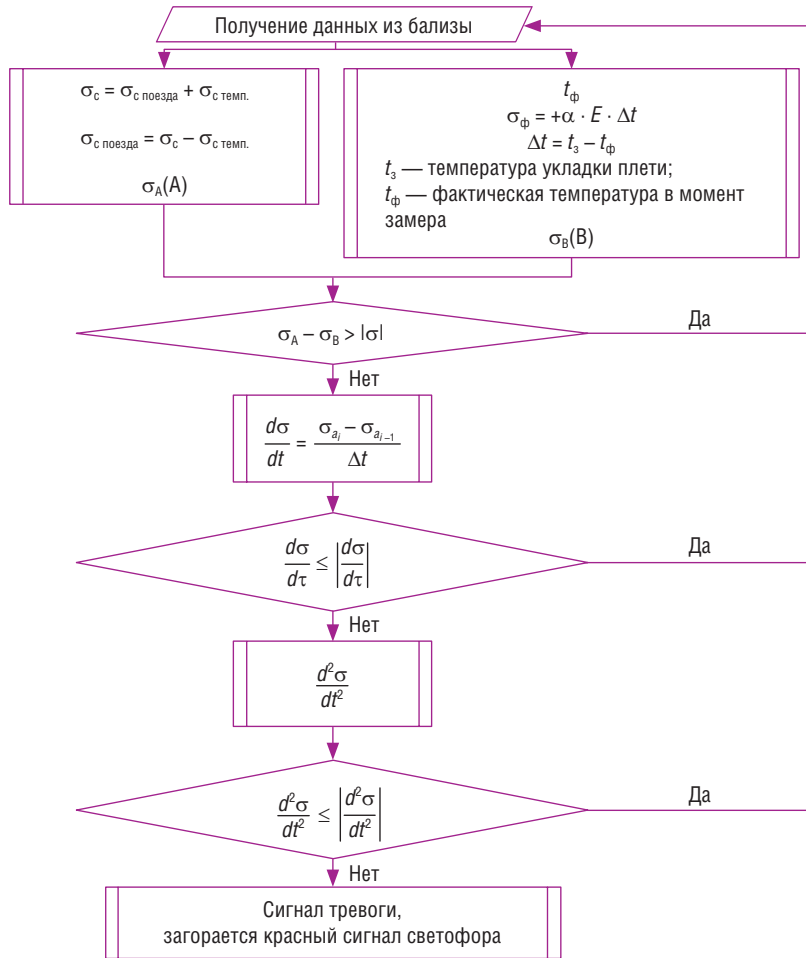


Рис. 2. Алгоритм электронной схемы балезы

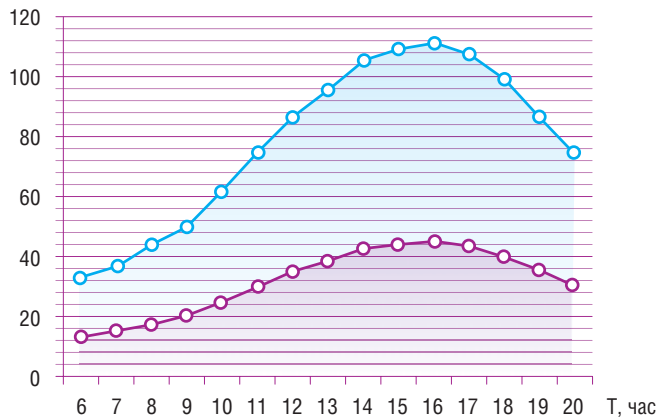


Рис. 3. Зависимость температурных продольных напряжений от температуры  
 — σt Mn; — t рельса

Скорость изменений температурных напряжений есть первая производная от напряжения. Взяв производную от функции напряжения, получили функцию скорости изменения напряжений:

$$V = -0,002179x^2 + 11,0779x - 1,68831. \quad (2)$$

Ранее кафедрой «Путь и железнодорожное строительство» были проведены испытания, которые пока-

зали, что температура рельса на поверхности катания отличается от температур шейки и подошвы рельса. На это имеется множество причин, но наиболее значимая — отражение солнечных лучей от поверхности катания, потому что она отшлифована колесными парами до блеска.

В связи с этим была выдвинута гипотеза о том, что температура по поверхности рельса и в сечении меняется неравномерно, также меняются напряжения, в результате изменения которых могут возникать дополнительные крутящие и изгибающие моменты. Для подтверждения этой гипотезы были проведены дополнительные лабораторные и полевые испытания. Вначале была разработана методика измерения температуры в рельсовых плетях:

1. Необходимо определить место положения точек для измерения температур по поверхности рельса, а также по всему его сечению для получения наиболее подробной картины их распределения. Точки должны быть расположены:

- в местах центров тяжести головки, шейки, подошвы и на поверхности рельса в одной горизонтали с ними;
- в местах перехода от головки к шейке, от шейки к подошве;
- по поверхности катания рельса.

На рис. 4 цифрами обозначены имена точек замеров температуры.

2. Необходимо нанести точки на поверхность рельса и по его сечению.

3. С помощью инфракрасного термометра (пирометра) измерить температуру в каждой точке и зафиксировать полученные данные (тепловизор не позволяет получить данные в конкретной точке, он выдает общую картину).

4. На основании теоретических данных в период с 11 до 13 часов необходимо измерять температуру с интервалом 20 минут. В остальное время замеры должны проводиться с периодом в один час. Полный цикл должен составлять не менее 12 часов в светлое время суток.

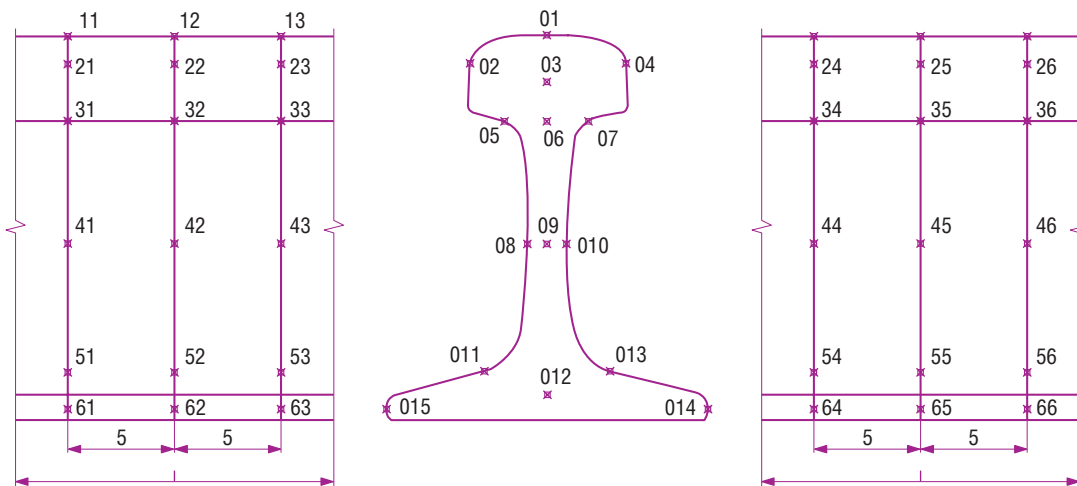


Рис. 4. Расположение точек на образцах рельса

После были проведены лабораторные испытания, включающие в себя ряд работ:

1. Подготовительные работы: за образец взяли отрезок рельса Р65 длиной 60 см; разрезали рельс на две равные части; выровняли и отшлифовали поверхности разреза.

2. Нагрев рельса с одной стороны с помощью строительного фена (для имитации условий, приближенных к полевым опытам).

3. Проведение замеров температур с помощью инфракрасного термометра по истечении 30 минут от начала нагрева, температура достигла 30 °С.

4. Повторный замер температур по истечении еще часа нагрева образца, температура достигла 54 °С.

Результаты испытаний (температурных замеров) представлены в виде теплограммы (рис. 5). На ней видно, что предполагаемая теневая сторона образца нагрелась аналогично противоположной, с которой происходил нагрев, — солнечной. Значит, в опыте не получилось приблизиться к полевым условиям. Основываясь на нем, нельзя получить данные о скоростях изменения температурных напряжений.

Поскольку на лабораторных испытаниях не получилось достигнуть ожидаемого результата, в связи с невозможностью создания необходи-

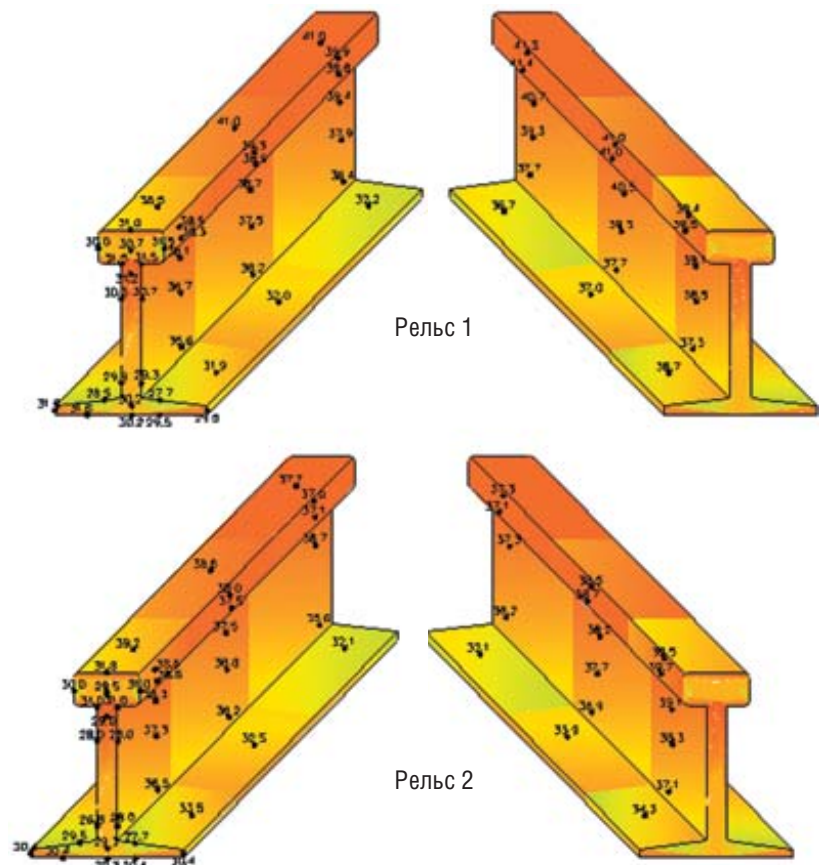


Рис. 5. Теплограмма

мых условий, были проведены полевые испытания согласно разработанной методике измерений температуры в рельсовых плетях.

По результатам испытаний были построены уравнения по каждой из точек измерений. Результаты представлены в табл. 1, 2.

Функциональные зависимости напряжений и температур от времени (рельс 1)

Точка	Функция зависимости		Козф. корреляции
	напряжения от времени	температуры от времени	
o1	$y = -0,107x^2 + 2,293x + 9,56$	$y = -0,253x^2 + 5,411x + 22,56$	0,905
o2	$y = -0,393x^2 + 7,398x + 25,72$	$y = -0,166x^2 + 3,134x + 10,89$	0,741
o3	$y = -0,443x^2 + 8,247x + 23,78$	$y = -0,187x^2 + 3,494x + 10,07$	0,733
o4	$y = -0,443x^2 + 8,247x + 23,78$	$y = -0,187x^2 + 3,494x + 10,07$	0,733
o5	$y = -0,376x^2 + 7,462x + 25,62$	$y = -0,187x^2 + 3,494x + 10,07$	0,733
o6	$y = -0,297x^2 + 5,617x + 31,87$	$y = -0,125x^2 + 2,380x + 13,50$	0,616
o7	$y = -0,231x^2 + 4,499x + 39,00$	$y = -0,098x^2 + 1,906x + 16,52$	0,511
o8	$y = -0,278x^2 + 5,455x + 31,95$	$y = -0,118x^2 + 2,311x + 13,54$	0,679
o9	$y = -0,342x^2 + 6,303x + 28,19$	$y = -0,145x^2 + 2,670x + 11,94$	0,702
o10	$y = -0,314x^2 + 5,774x + 33,31$	$y = -0,133x^2 + 2,446x + 14,11$	0,637
o11	$y = -0,271x^2 + 5,487x + 26,28$	$y = -0,115x^2 + 2,325x + 11,13$	0,652
o12	$y = -0,241x^2 + 5,061x + 23,93$	$y = -0,102x^2 + 2,144x + 10,14$	0,68
o13	$y = -0,244x^2 + 4,972x + 27,43$	$y = -0,103x^2 + 2,107x + 11,62$	0,631
o14	$y = -0,269x^2 + 5,418x + 25,86$	$y = -0,114x^2 + 2,296x + 10,95$	0,612
o15	$y = -0,273x^2 + 5,550x + 26,78$	$y = -0,115x^2 + 2,351x + 11,34$	0,653
11	$y = -0,379x^2 + 7,636x + 9,166$	$y = -0,160x^2 + 3,235x + 3,884$	0,833
12	$y = -0,344x^2 + 7,091x + 10,99$	$y = -0,146x^2 + 3,005x + 4,656$	0,793
13	$y = -0,366x^2 + 7,369x + 11,02$	$y = -0,155x^2 + 3,122x + 4,671$	0,815
21	$y = -0,412x^2 + 8,413x + 9,559$	$y = -0,174x^2 + 3,565x + 4,050$	0,894
22	$y = -0,353x^2 + 7,449x + 12,71$	$y = -0,149x^2 + 3,156x + 5,387$	0,842
23	$y = -0,365x^2 + 7,402x + 15,49$	$y = -0,154x^2 + 3,136x + 6,565$	0,801
24	$y = -0,030x^2 + 1,782x + 46,77$	$y = -0,012x^2 + 0,755x + 19,81$	0,416
25	$y = -0,079x^2 + 2,487x + 47,37$	$y = -0,033x^2 + 1,053x + 20,07$	0,4
26	$y = -0,087x^2 + 2,607x + 47,89$	$y = -0,037x^2 + 1,104x + 20,29$	0,383
31	$y = -0,146x^2 + 3,502x + 46,37$	$y = -0,062x^2 + 1,484x + 19,65$	0,374
32	$y = -0,138x^2 + 3,391x + 46,78$	$y = -0,058x^2 + 1,437x + 19,82$	0,363
33	$y = -0,127x^2 + 3,214x + 46,27$	$y = -0,054x^2 + 1,362x + 19,60$	0,364
34	$y = -0,059x^2 + 2,282x + 48,94$	$y = -0,025x^2 + 0,967x + 20,73$	0,396
35	$y = -0,075x^2 + 2,467x + 49,69$	$y = -0,031x^2 + 1,045x + 21,05$	0,382

Г. Л. Аккерман, М. А. Скутина, А. В. Калинин, И. Е. Рыбинцев | Балеза как средство контроля температурно-напряженного состояния рельсовых плетей...

Окончание табл. 1

Точка	Функция зависимости		Козф. корреляции
	напряжения от времени	температуры от времени	
36	$y = -0,089x^2 + 2,592x + 50,36$	$y = -0,037x^2 + 1,098x + 21,34$	0,349
42	$y = -0,124x^2 + 3,160x + 47,37$	$y = -0,052x^2 + 1,339x + 20,07$	0,371
43	$y = -0,129x^2 + 3,223x + 45,77$	$y = -0,054x^2 + 1,365x + 19,39$	0,382
44	$y = -0,08x^2 + 2,508x + 49,12$	$y = -0,033x^2 + 1,062x + 20,81$	0,345
45	$y = -0,103x^2 + 2,835x + 49,61$	$y = -0,043x^2 + 1,201x + 21,02$	0,345
51	$y = -0,169x^2 + 4,017x + 43,17$	$y = -0,071x^2 + 1,702x + 18,29$	0,465
52	$y = -0,144x^2 + 3,567x + 44,68$	$y = -0,061x^2 + 1,511x + 18,93$	0,432
53	$y = -0,134x^2 + 3,407x + 43,23$	$y = -0,056x^2 + 1,443x + 18,31$	0,445
54	$y = -0,086x^2 + 2,644x + 47,60$	$y = -0,036x^2 + 1,120x + 20,17$	0,371
55	$y = -0,108x^2 + 2,950x + 48,18$	$y = -0,046x^2 + 1,250x + 20,41$	0,367
56	$y = -0,127x^2 + 3,180x + 48,77$	$y = -0,054x^2 + 1,347x + 20,66$	0,34
61	$y = -0,169x^2 + 3,876x + 39,47$	$y = -0,054x^2 + 1,347x + 20,66$	0,34
62	$y = -0,121x^2 + 3,225x + 39,48$	$y = -0,051x^2 + 1,366x + 16,73$	0,514
63	$y = -0,14x^2 + 3,469x + 38,19$	$y = -0,059x^2 + 1,470x + 16,18$	0,501
64	$y = -0,084x^2 + 2,887x + 36,55$	$y = -0,035x^2 + 1,223x + 15,48$	0,516
65	$y = -0,081x^2 + 2,595x + 38,75$	$y = -0,034x^2 + 1,099x + 16,42$	0,448
66	$y = -0,073x^2 + 2,393x + 40,88$	$y = -0,030x^2 + 1,014x + 17,32$	0,449

Таблица 2

Функциональные зависимости  
напряжений и температур от времени (рельс 2)

Точка	Функция зависимости		Козф. корреляции
	напряжения от времени	температуры от времени	
o1	$y = -0,6283x^2 + 12,016x$	$y = -0,2662x^2 + 5,0916x$	0,7021
o2	$y = -0,3055x^2 + 5,8747x$	$y = -0,721x^2 + 13,864x$	-1,396
o3	$y = -0,2831x^2 + 5,5502x$	$y = -0,6682x^2 + 13,099x$	-0,709
o4	$y = -0,0782x^2 + 1,6118x + 16,126$	$y = -0,7115x^2 + 13,608x$	-1,66
o5	$y = -0,0639x^2 + 1,4336x + 16,128$	$y = -0,1508x^2 + 3,3832x + 38,061$	0,3429
o6	$y = -0,0946x^2 + 2,102x + 13,867$	$y = -0,2233x^2 + 4,9608x + 32,726$	0,552
o7	$y = -0,0637x^2 + 1,3193x + 18,152$	$y = -0,1503x^2 + 3,1135x + 42,839$	0,2296

Г. Л. Аккерман, М. А. Скутина, А. В. Калинин, И. Е. Рыбинцев | Балеза как средство контроля температурно-напряженного состояния рельсовых плетей...

Точка	Функция зависимости		Коеф. корреляции
	напряжения от времени	температуры от времени	
o8	$y = -0,0537x^2 + 1,4284x + 15,421$	$y = -0,1266x^2 + 3,3711x + 36,394$	0,4284
o9	$y = -0,0576x^2 + 1,4139x + 15,676$	$y = -0,1359x^2 + 3,3368x + 36,995$	0,3439
o10	$y = -0,0561x^2 + 1,3706x + 16,68$	$y = -0,1324x^2 + 3,2346x + 39,365$	0,4021
o11	$y = -0,0678x^2 + 1,6675x + 12,551$	$y = -0,16x^2 + 3,9354x + 29,619$	0,5018
o12	$y = -0,0983x^2 + 2,1412x + 10,726$	$y = -0,2321x^2 + 5,0533x + 25,313$	0,4902
o13	$y = -0,0983x^2 + 2,0909x + 12,096$	$y = -0,2319x^2 + 4,9345x + 28,548$	0,5117
o14	$y = -0,1073x^2 + 2,2512x + 10,828$	$y = -0,2532x^2 + 5,3127x + 25,554$	0,5347
o15	$y = -0,0772x^2 + 1,7916x + 11,757$	$y = -0,1822x^2 + 4,2282x + 27,747$	0,5362
11	$y = -0,1587x^2 + 3,2129x + 4,3664$	$y = -0,3744x^2 + 7,5824x + 10,305$	0,8462
12	$y = -0,1495x^2 + 3,0558x + 4,4899$	$y = -0,3527x^2 + 7,2116x + 10,596$	0,8278
13	$y = -0,1792x^2 + 3,5479x + 3,2136$	$y = -0,4228x^2 + 8,373x + 7,5842$	0,8777
21	$y = -0,0388x^2 + 0,958x + 20,294$	$y = -0,0917x^2 + 2,2609x + 47,894$	0,2235
22	$y = -0,0387x^2 + 1,0164x + 20,315$	$y = -0,0913x^2 + 2,3987x + 47,943$	0,2762
23	$y = -0,0389x^2 + 1,0593x + 20,164$	$y = -0,0919x^2 + 2,5x + 47,586$	0,3118
24	$y = -0,1501x^2 + 3,0459x + 7,0848$	$y = -0,3543x^2 + 7,1883x + 16,72$	0,8671
25	$y = -0,13x^2 + 2,6675x + 8,2031$	$y = -0,3067x^2 + 6,2952x + 19,359$	0,8253
26	$y = -0,1522x^2 + 3,0397x + 7,2387$	$y = -0,3592x^2 + 7,1737x + 17,083$	0,8879
31	$y = -0,0502x^2 + 1,1881x + 20,293$	$y = -0,1185x^2 + 2,804x + 47,891$	0,2829
32	$y = -0,043x^2 + 1,1137x + 20,561$	$y = -0,1014x^2 + 2,6283x + 48,525$	0,2854
33	$y = -0,0434x^2 + 1,1521x + 20,268$	$y = -0,1023x^2 + 2,7189x + 47,833$	0,301
34	$y = -0,0427x^2 + 1,0872x + 20,498$	$y = -0,1007x^2 + 2,5657x + 48,374$	0,2985
35	$y = -0,0468x^2 + 1,1359x + 20,228$	$y = -0,1104x^2 + 2,6808x + 47,738$	0,3006
36	$y = -0,0549x^2 + 1,2657x + 19,303$	$y = -0,1295x^2 + 2,987x + 45,556$	0,338
41	$y = -0,0587x^2 + 1,3268x + 20,087$	$y = -0,1386x^2 + 3,1312x + 47,406$	0,2817
42	$y = -0,0532x^2 + 1,2274x + 20,719$	$y = -0,1256x^2 + 2,8967x + 48,898$	0,2556
43	$y = -0,0528x^2 + 1,2269x + 20,713$	$y = -0,1247x^2 + 2,8956x + 48,883$	0,2552
44	$y = -0,0526x^2 + 1,2271x + 20,204$	$y = -0,1241x^2 + 2,8959x + 47,681$	0,3158
45	$y = -0,0561x^2 + 1,2387x + 20,223$	$y = -0,1325x^2 + 2,9234x + 47,727$	0,3032
46	$y = -0,0615x^2 + 1,2852x + 20,166$	$y = -0,1451x^2 + 3,0332x + 47,592$	0,2959
51	$y = -0,0624x^2 + 1,379x + 19,686$	$y = -0,1473x^2 + 3,2545x + 46,458$	0,2786
52	$y = -0,0575x^2 + 1,2974x + 20,244$	$y = -0,1358x^2 + 3,0619x + 47,776$	0,2723

Точка	Функция зависимости		Козф. корреляции
	напряжения от времени	температуры от времени	
53	$y = -0,0571x^2 + 1,3044x + 20,262$	$y = -0,1347x^2 + 3,0784x + 47,818$	0,2784
54	$y = -0,056x^2 + 1,2595x + 19,555$	$y = -0,1322x^2 + 2,9725x + 46,149$	0,3228
55	$y = -0,059x^2 + 1,2706x + 19,616$	$y = -0,1392x^2 + 2,9987x + 46,294$	0,2806
56	$y = -0,0668x^2 + 1,3637x + 19,547$	$y = -0,1577x^2 + 3,2183x + 46,132$	0,2872
61	$y = -0,0547x^2 + 1,2209x + 16,719$	$y = -0,129x^2 + 2,8814x + 39,458$	0,3002
62	$y = -0,0533x^2 + 1,2223x + 16,944$	$y = -0,1259x^2 + 2,8847x + 39,988$	0,3455
63	$y = -0,0261x^2 + 0,8764x + 17,163$	$y = -0,0617x^2 + 2,0684x + 40,504$	0,3778
64	$y = -0,0292x^2 + 0,7898x + 19,152$	$y = -0,0688x^2 + 1,8639x + 45,199$	0,2524
65	$y = -0,0468x^2 + 1,1485x + 17,357$	$y = -0,1104x^2 + 2,7105x + 40,963$	0,4138
66	$y = -0,0595x^2 + 1,3409x + 16,867$	$y = -0,1405x^2 + 3,1644x + 39,805$	0,4607

На основании полученных данных был сделан вывод: в каждой обозначенной точке напряжение меняется по своему закону, а в некоторых точках невозможно составить достоверное уравнение зависимости напряжения от времени. Однако необходимо отметить, что несмотря на это температура рельса по поверхности и сечению меняется неравномерно, вследствие чего возникающие напряжения тоже имеют неравномерный характер изменения по всему рельсу.

Выдвинутая нами гипотеза была подтверждена, температура рельса на поверхности и в сечении изменяется по-разному.

Результаты исследования могут быть использованы для решения проблем, связанных с выбросом и разрывом плети на сети железных дорог Российской Федерации. **ИТ**

### Список литературы

1. Технические условия на работы по ремонту и планово-предупредительной выправке пути. ЦПТ-53 — М., 2004. — 120 с.
2. Инструкция по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути. — М., 2012. — 138 с.
3. Инновации и исследования в транспортном комплексе: материалы III Международной научно-практической конференции. Часть I. — Курган, 2015. — 321 с.
4. Аккерман Г.Л., Скутина М.А. Средства контроля за мониторингом рельсовых плетей // РСП ЭКСПЕРТ. — 2015. — № 2. — С. 17–18.
5. Перспектива : сб. науч. тр. студентов / [под науч. ред. С.В. Бушуева, канд. техн. наук]. — Екатеринбург : УрГУПС, 2015. — Вып. 2 (200). — 212 с.
6. Бализа как способ контроля напряженного состояния рельсовых плетей, выброса и разрыва пути // Инновационный транспорт. — 2015. — № 3 (17). — С. 34–37.
7. Определение напряженного состояния рельсовых плетей при помощи бализ // Повышение эффективности транспортной системы региона: проблемы и перспективы: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием : В 3 томах / под ред. С.М. Гончарука. — Хабаровск, 2015. — С. 88–93.



**Александр Викторович  
Паранин**

**Aleksandr V. Parinin**



**Алексей Геннадьевич  
Леонов**

**Aleksey G. Leonov**

## Расчет тепловых характеристик и допустимых токов на лимитированном перегоне

### Calculation of heat characteristics and permissible current at a limited railway section

#### Аннотация

В данной статье рассмотрен расчет тепловых характеристик, длительно и кратковременно допустимых токов на лимитированном перегоне с учетом потоков солнечной радиации.

Рассмотрены тепловые процессы в контактной сети постоянного тока при транзите электроэнергии, а также тепловые процессы при токосъеме. Расчет выполнен в программном комплексе продукта Maple Build v.12.

**Ключевые слова:** контактная подвеска, провода, нагрев, конвективное охлаждение, тепловые характеристики, длительно и кратковременно допустимый ток, длительно и кратковременно допустимая температура.

#### Summary

The paper discusses the calculation of heat characteristics, long and short time permissible currents at a limited railway section taking into account the sun radiation stream.

Heat processes are studied in the direct current contact circuit at power transit, as well as heat processes at current collection. The calculation is performed in the Maple Build v.12 software.

**Keywords:** contact suspension, wires, heating, convective cooling, heat characteristics, long and short time permissible current, long and short time permissible temperature.

DOI:10.20291/2311-164X-2016-2-62-66

#### Авторы Authors

*Александр Викторович Паранин, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроснабжение транспорта» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: alks84@mail.ru | Алексей Геннадьевич Леонов, магистрант кафедры «Электроснабжение транспорта» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: rpg.09@mail.ru*

*Aleksandr Viktorovich Parinin, PhD in Engineering, Associate Professor, Department "Transport power supply", Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: alks84@mail.ru | Aleksey Gennadievich Leonov, masters student, Department "Transport power supply", Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: rpg.09@mail.ru*



С точки зрения тепловых процессов можно выделить два случая нагрева провода, принципиально различных при расчете. Первый случай — это транзит тягового тока по проводу, второй случай — непосредственный токосъем с поверхности провода тягового тока токоприемником электроподвижного состава. В первом случае температура по сечению провода распределена равномерно, и провод можно представить одномерным объектом, температура которого зависит от координаты по его длине и от времени  $T = T(x, t)$ . Этот случай можно описать с помощью математической модели, показанной на рис. 1.

На рис. 1 обозначены следующие параметры:

- $q_{рз}$  — погонный резистивный поток тепла, Вт/м;
- $q_{сл}$  — погонный поток тепла от солнечной радиации, Вт/м;
- $q_{кн}$  — погонный поток тепла от теплоотдачи конвекцией, Вт/м;
- $q_{лч}$  — погонный поток тепла от теплоотдачи лучеиспусканием, Вт/м;
- $c$  — теплоемкость материала провода, Дж/(кг·К);
- $m_{пр}$  — погонная масса провода, кг/м;
- $k$  — теплопроводность материала провода, Вт/(м·К);
- $S$  — площадь поперечного сечения провода, м<sup>2</sup>;
- $r_0$  — удельное сопротивление материала провода, Ом·м;
- $I$  — ток в проводе, А;
- $\alpha_R$  — температурный коэффициент сопротивления, 1/К;

- $\beta$  — коэффициент поглощения солнечной радиации;
- $d$  — диаметр провода, м;
- $Q_{сл}$  — поверхностный суммарный поток от солнечной радиации, Вт/м<sup>2</sup>;
- $h$  — погонный коэффициент конвективного охлаждения провода, Вт/(м·К);
- $T_{окр}$  — температура окружающей среды, К;
- $\varepsilon$  — степень черноты поверхности провода;
- $l$  — периметр сечения провода, м;
- $C_{сб}$  — постоянная Стефана — Больцмана, равная  $5,670 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>).

Для расчета допустимых токов параметры окружающей среды были приняты в соответствии с рекомендациями [1, 2]: температура окружающей среды +40 °С, скорость ветра 1 м/с, суммарный поток солнечной радиации 900 Вт/м<sup>2</sup>, барометрическое атмосферное давление 760 мм рт. ст. Эти условия соответствуют самому жаркому летнему дню в средней полосе России. Коэффициент поглощения солнечной радиации  $\beta$  очень близок к степени черноты поверхности провода  $\varepsilon$ . В расчетах оба параметра приняты равными. Данный коэффициент сильно зависит от состояния поверхности металла, от наличия окисной пленки и загрязнения. Для сильно загрязненных проводов он равен примерно 0,9. В расчетах принималось, что для контактной подвески сразу после ввода в эксплуатацию  $\varepsilon = 0,3$ , для подвески после длительного срока эксплуатации  $\varepsilon = 0,75$ .



Рис. 1. Математическая модель нагрева провода в случае транзита тягового тока по проводу

При расчетах допустимых токов потоком тепла по длине провода пренебрегают. Второе слагаемое в выражении на рис. 1 отсутствует. При определении длительно допустимого тока  $I_{дл}$  процесс принимается установившимся. Это означает, что производные по времени равны нулю и дифференциальное уравнение превращается в алгебраическое, а после решается относительно тока. Температура провода принимается равной длительно допустимой  $T = T_{дл}$ . В результате получается формула [3] для расчета длительно допустимого тока.

$$I_{дл} = \sqrt{\frac{(q_{кн} + q_{лч} - q_{сл}) \cdot S}{r_0 \cdot (1 + \alpha_R \cdot (293 - T))}} \quad (1)$$

При определении кратковременно допустимого тока при коротком замыкании исходят из того, что время его протекания мало и теплообменом с окружающей средой можно пренебречь. Погонные потоки тепла от конвекции, лучеиспускания и солнечной радиации равны нулю. Получившееся линейное дифференциальное уравнение решается аналитически. Далее задается величина времени протекания тока короткого замыкания  $t_{кз}$ , допустимой кратковременной температурой при коротком замыкании  $T_{кз}$ , начальной температурой провода  $T_1$ . В данном случае  $T_{кз} = 170^\circ\text{C}$ ,  $t_{кз} < 1$  с. Начальная температура провода  $T_1$  принимается с учетом превышения его температуры над окружающей средой от нагрева солнечной радиацией. Из аналитического решения дифференциального уравнения получается формула [3] для определения кратковременно допустимого тока при коротком замыкании:

$$I_{кр\_кз} = \sqrt{\frac{c \cdot S}{r_0 \cdot \alpha_R \cdot t_{кз}} \cdot \ln\left(\frac{1 + \alpha_R \cdot (T_{кз} - 20)}{1 + \alpha_R \cdot (T_1 - 20)}\right)} \quad (2)$$

При расчете допустимого тока перегрузки при времени его протекания  $t_{пер} < 10$  мин необходимо учитывать теплоотдачу в окружающую среду. Использовать аналитическую методику расчета достаточно сложно и трудоемко, при этом приходится прибегать к определенным допущениям — минимизировать теплоотдачу за счет лучеиспускания. В данном случае расчет температуры производился численным решением дифференциального уравнения. Начальная температура провода  $T_1$  также учитывала нагрев от солнечной радиации. Величина тока  $I_{пер}$  подбиралась таким образом, чтобы через заданное время  $t_{пер}$  температура провода достигла кратковременно допустимой при перегрузке  $T_{пер}$ . Для медных проводов  $T_{пер} = 120^\circ\text{C}$ .

Наиболее сложным для определения параметром, необходимым для расчета температуры провода, является погонный коэффициент конвективной теплоотдачи  $h$ . Он зависит от формы провода, скорости ветра  $V_{в}$ , температуры окружающей среды  $T_{окр}$  и атмосферного барометрического давления [4]. Для расчета параметра  $h$  использованы аналитические методики из [5] и [6]. Эти методики дают немного различный результат. Окончательное значение погонного коэффициента конвективной теплоотдачи принималось как среднее.

В табл. 1 приведены марки проводов и параметры материала, из которого выполнена контактная подвеска на лимитированном перегоне.

Таблица 1

Параметры проводов и тросов на лимитированном перегоне

Тип провода	Контактный провод	Несущий трос	Усиливающий провод
Марка провода (15 % износ)	МФ-100	М-120	А-185
Площадь поперечного сечения, м <sup>2</sup>	0,0000886	0,000117	0,000183
Периметр, м	0,039959	0,000153938	0,000240528
Диаметр, м	0,011305	0,014	0,0175
Эквивалентный диаметр, м	0,01062	0,01221	0,01526
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	8900	8900	2698
Теплоемкость, Дж/(кг·К)	385	385	903,7
Теплопроводность, Вт/(м·К)	401	401	220
Удельное сопротивление проводников при 20 °С, Ом·м	1,77E-08	1,81E-08	0,000000031
Коэффициент увеличения сопротивления, 1/К	0,0043	0,0043	0,0042
Относительная магнитная проницаемость	1	1	1
Коэффициент теплового расширения, 1/К	0,0000165	0,0000165	0,000026

Площадь сечения проводов и тросов контактной сети должна обеспечивать прохождение тока, необходимого для тяги поездов при требуемых размерах движения с установленными весовыми нормами, скоростями, интервалами и с учетом разгона после остановки.

Температура нагрева проводов и тросов при максимальной температуре воздуха и наибольших токовых нагрузках не должна превышать значений, приведенных в табл. 2.

Проверку проводов и тросов по условиям проводят по наибольшим за периоды 1, 3 и 20 минут действующим значениям токов нагрузки. Для контактной сети постоянного тока необходимо учитывать 15% износа каждого контактного провода.

В табл. 2 приведены значения для контактной подвески, используемой на лимитированном перегоне, так как по проводам и тросам происходит транзит тягового тока и при взаимодействии с токоприемником контактная подвеска имеет 15%-ный износ.

Не допускается уменьшение площади сечения контактной подвески на железнодорожных станциях (включая горловины) и продольных электрических соединителей на перегонах и железнодорожных станциях

по сравнению с площадью сечения контактной подвески на перегонах.

Снижение площади сечения медных, сталемедных, алюминиевых, сталеалюминиевых, бронзовых и стальных многопроволочных проводов и тросов вследствие обрыва проволок или коррозии не должно превышать 15% их полной площади сечения. При большем снижении площади сечения (обрыве трех и более проволок) необходимо выполнить вставку или установить шунт. На месте обрыва одной или двух проволок должен быть наложен бандаж.

При выпучивании верхнего повива и наличии вмятины на четырех и более проволоках на поврежденное место должен быть установлен шунт.

В табл. 3 приведены практические значения длительно допустимых токов для каждого провода в отдельности.

Используя параметры контактной подвески на лимитированном перегоне, приведем сравнение длительно допустимых токов (как отдельно взятых проводов и тросов, так и подвески целиком) с данными инструкции ЦЭ-868 [1] (табл. 4). Сравнение будем производить при износе 15%.

Таблица 2

**Допустимая температура нагрева контактной подвески на лимитированном перегоне**

Тип провода	Контактный провод	Несущий трос	Усиливающий провод
Марка провода	МФ-100	М-120	А-185
Степень черноты поверхности	0,75	0,75	0,75
Длительно допустимая температура 20 и более мин, К	368	373	363
Кратковременно допустимая температура 1 мин (КЗ 1 с), К	413	413	383
Кратковременно допустимая температура 3 мин, К	393	393	373

Таблица 3

**Длительно допустимые значения токов на лимитированном перегоне**

Тип провода	Контактный провод	Несущий трос	Усиливающий провод
Марка провода	МФ-100	М-120	А-185
Конвекция [6], А	475	575	526
Конвекция [5], А	536	600	555
Окончательно, А	506	587	540

Таблица 4

Практические значения и значения ЦЭ-868 при износе проводов 15 %

Марка проводов	Расчет	ЦЭ-868	Отличие, %
МФ100, А	506,4	540	6,64
М-120, А	587,31	650	10,67
А-185, А	540,49	590	9,16
М-120 + 2МФ100 + + 2А-185, А	2569,61	2710	5,46

Из табл. 4 видно, что практические значения отличаются от значений, приведенных в инструкции ЦЭ-868. Эти отклонения обуславливаются учетом солнечной радиации, что приводит к меньшему значению длительно допустимых токов проводов контактной сети, чем в инструкции ЦЭ-868.

Для уменьшения рисков и повышения надежности предлагается брать во внимание данную методику расчетов, поскольку возможно и необходимо повысить уровень надежности от перегрева не только на лимитированном перегоне, но и на других магистралях железных дорог постоянного тока.

В табл. 5 приведены расчетные значения кратковременно допустимых токов при коротком замыкании для контактной подвески на лимитированном перегоне.

Для наглядности приведем график зависимости тока от времени для контактной подвески на данном лимитированном перегоне (рис. 2).

## Заключение

В результате расчета длительно допустимых токов и длительно допустимых токов короткого замыкания с учетом потоков солнечной радиации на данном лимитированном перегоне были выявлены некоторые отклонения значений, приведенных в инструкции ЦЭ-868.

Эти отклонения обуславливаются учетом солнечной радиации, что приводит к меньшему значению длительно

Таблица 5

Кратковременно допустимые величины токов при коротком замыкании для контактной подвески на лимитированном перегоне (тип провода: контактная подвеска; марка провода: 2МФ-100 + М-120 + 2А-185)

Время протекания тока, с	Величина тока, А
0,1	173381
0,2	122599
0,3	100101
0,4	86690
0,5	77538,
0,6	70782
0,7	65532
0,8	61299
0,9	57793
1	54828

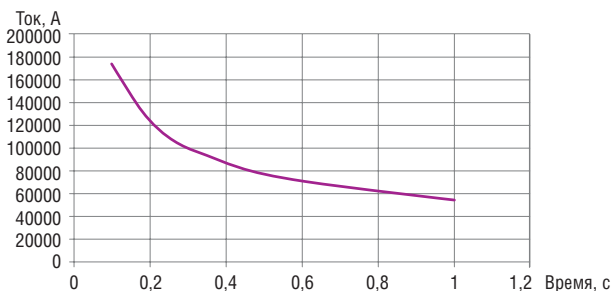


Рис. 2. Зависимость длительно допустимого тока при коротком замыкании от времени для контактной подвески на данном лимитированном перегоне

допустимых токов проводов контактной сети, чем в инструкции ЦЭ-868.

Рассчитанная величина допустимого по нагреву проводов тока короткого замыкания в зависимости от времени для контактной подвески на данном лимитированном перегоне позволяет сделать вывод о том, что релейная защита сможет гарантированно отключить ток короткого замыкания до того момента, как провод достигнет опасной температуры. **ИТ**

## Список литературы

1. Правила устройства и технической эксплуатации контактной сети электрифицированных железных дорог. ЦЭ-868. — М. : Трансиздат, 2001. — 184 с.
2. Правила устройства системы тягового электроснабжения железных дорог. ЦЭ-462. — М. : Трансиздат, 1997. — 73 с.
3. Kiessling F., Puschmann R., Schmieder A., Schneider E. Contact Lines for Electric Railways: Planning, Design, Implementation, Maintenance. — Publicis Corporate Publishing. — 2nd edition (August 24, 2009).
4. Паранин А. В. Совершенствование аэродинамических и тепловых расчетов проводов контактной сети : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07. — Защищена 25.03.2011. — Екатеринбург, 2011. — 196 с.
5. Марский В. Е. Определение нагрузочной способности контактных подвесок постоянного тока и их элементов // Новое в хозяйстве электроснабжения / под ред. А. Б. Косарева. — М. : Интекст, 2003. — С. 123–127.

УДК 621.19



**Олег  
Юрьевич  
Моисеев**

Oleg Y.  
Moiseev



**Дмитрий  
Николаевич  
Парышев**

Dmitriy N.  
Paryshev



**Игорь  
Георгиевич  
Овчинников**

Igor G.  
Ovchinnikov



**Валерий  
Васильевич  
Харин**

Valeriy V.  
Kharin



**Илья  
Игоревич  
Овчинников**

Ilya I.  
Ovchinnikov

## Инновационная трубобетонная балка для пролетных строений балочных малых мостов

### Innovative tube concrete beam in span structures of minor beam bridges

#### Аннотация

В статье рассматривается возможность использования в пролетных строениях малых мостов балочной конструкции из трубобетонных элементов с асимметрично предварительно напряженным бетонным ядром. С целью снижения стоимости трубобетонной балки предлагается в качестве металлической трубчатой оболочки использовать старогодные нефтегазовые трубы. Применение несимметричного предварительного напряжения бетонного ядра позволяет управлять напряженным состоянием трубобетонной балки.

**Ключевые слова:** малые мосты, пролетные строения, трубобетон, армирующие элементы, бетонное ядро, внецентренное сжатие, металлическая оболочка.

DOI:10.20291/2311-164X-2016-2-67-71

#### Авторы Authors

**Олег Юрьевич Моисеев**, генеральный директор ООО «Мостпроект», д-р транспорта, Курган; e-mail: mostproekt@kurganstalmost.ru | **Дмитрий Николаевич Парышев**, действительный член Российской академии транспорта, генеральный директор ЗАО «Курганстальмост», Курган; e-mail: kancler@kurganstalmost.ru | **Игорь Георгиевич Овчинников**, д-р техн. наук, профессор кафедры «Автомобильные дороги и мосты» Пермского национального исследовательского политехнического университета, заслуженный деятель науки РФ, действительный член Российской академии транспорта, Пермь; e-mail: bridgesar@mail.ru | **Валерий Васильевич Харин**, канд. техн. наук, доцент, действительный член Российской академии транспорта, заместитель директора по научной работе и инновационному развитию Курганского института железнодорожного транспорта; Курган; e-mail: uralakademia@mail.ru | **Илья Игоревич Овчинников**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Транспортное строительство» Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Сочинский филиал, Саратов, e-mail: bridgeart@mail.ru

**Oleg Yurievich Moiseev**, Mostproekt LLC General Director, DSc in Transport, Kurgan; e-mail: mostproekt@kurganstalmost.ru | **Dmitriy Nikolaevich Paryshev**, active member of Russian Academy of Transport, CJSC Kurganstalst General Director, Kurgan; e-mail: kancler@kurganstalmost.ru | **Igor Grigorievich Ovchinnikov**, PhD in Engineering, Professor, Department "Automotive roads and bridges", Perm National Research Polytechnic University, esteemed scientist of the Russian Federation, active member of Russian Academy of Transport, Perm; e-mail: bridgesar@mail.ru | **Valeriy Vasilievich Kharin**, PhD in Engineering, Associate Professor, active member of Russian Academy of Transport, deputy director for academic work and innovative development, Kurgan Institute of Railway Transport; Kurgan; e-mail: uralakademia@mail.ru | **Ilya Igorevich Ovchinnikov**, PhD in Engineering, Associate Professor, Department "Transportation construction", Moscow Road and Rail State Technical University (MADI), branch in Sochi, Saratov, e-mail: bridgeart@mail.ru

На федеральной сети автомобильных дорог общего пользования РФ расположено 41,8 тыс. мостовых сооружений. Большинство таких сооружений относятся к категории малых и средних мостов, построенных в 1960–1970-х гг. по действующим в то время нормам проектирования. В настоящее время в качестве проектных используются значительно большие нагрузки А14 и Н14. Но на дорогах общего пользования все еще эксплуатируются мосты, построенные по более старым нормам.

В последнее время происходит прогрессирующее ухудшение состояния мостов на дорогах общего пользования. Так, анализ материалов обследования малых и средних мостов показывает, что целый ряд поврежденных несет массовый характер: неисправность гидроизоляции и деформационных швов, размыв опор и устоев, выход из строя опорных частей и т. д. Но наиболее важным, с точки зрения эксплуатационных свойств, является состояние пролетных строений.

В настоящее время возрастает потребность в сооружении надежных и недорогих малых автодорожных мостов. В первую очередь это связано с тем, что для развития экономики по всей стране должно быть развернуто массовое строительство автомобильных дорог, что потребует возведения большого количества малых мостов.

Наиболее простые и экономичные мостовые сооружения — малые мосты балочной системы, где главными элементами являются опоры и пролетные строения. При этом пролетные строения, как правило, самые сложные и дорогие элементы в малых мостах, которые в значительной мере определяют общую стоимость мостового сооружения.

Предлагаемая авторами перспективная и экономически выгодная трубобетонная балка, которая может эффективно работать в пролетных строениях малых мостов, представлена на рис. 1.

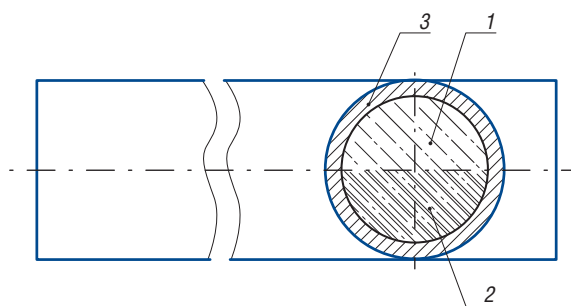


Рис. 1. Трубобетонная балка с асимметрично предварительно напряженным бетонным ядром: 1 — бетон (неармированная часть бетонного ядра); 2 — предварительно напряженный железобетон (армированная часть бетонного ядра); 3 — старогодная нефтегазовая труба

Конструкции с использованием трубобетонных элементов начали широко применяться в промышленности и в гражданском строительстве более 70 лет назад. Трубобетон представляет собой бетон, заключенный в ме-

таллическую трубу. Но, как показывает мировой опыт использования прямых трубобетонных балок (у которых отсутствует кривизна их осей), проектировщики всегда ограничиваются конструкциями, где балки применяются или в качестве колонн, или в качестве опор. При этом обеспечивается осесимметричное или внецентренное нагружение сжатием трубобетонной конструкции, у которой бетонное ядро работает в условиях объемного сжатия.

Обычные прямые трубобетонные балки в пролетных строениях мостов использовать практически невозможно в силу того, что в нижней части балки бетонное ядро работает на растяжение и уже при деформации 0,003 в нем образуются трещины. По этой причине в обычных изгибаемых трубобетонных балках бетонное ядро малоэффективно, а грузоподъемность такой трубобетонной балки может оказаться ненамного больше грузоподъемности пустотелой металлической трубчатой балки. На практике трубобетонные конструкции в пролетных строениях мостов всегда используются в виде арок, у которых бетонное ядро работает в условиях объемного сжатия. Однако любые арочные конструкции сложны и затратны в изготовлении и транспортировке их к месту строительства моста и уже только по этим показателям существенно проигрывают прямым балкам.

Для реализации потенциальных грузоподъемных свойств прямой трубобетонной балки необходимо создать в ее сечении неравномерное распределение предварительных сжимающих напряжений. При этом максимальные сжимающие напряжения в бетонном ядре должны быть в наиболее растянутых от внешней нагрузки частях ядра (т. е. в ее нижней части, наиболее удаленной от оси), для чего напрягаемую арматуру располагают асимметрично (эксцентрично), как показано на рис. 1.

От действия растягивающих усилий от армирующих элементов в сечении трубобетонной балки возникает внецентренное сжатие. Кроме сжимающего усилия в сечении трубобетонной балки также возникает и изгибающий момент, обратный по знаку моменту от внешней нагрузки. В процессе изготовления такая трубобетонная балка получает выгиб, обратный прогибу от внешней нагрузки (по сути дела, это строительный подъем). Следовательно, предварительно напряженная арматура в трубобетонной балке создает наибольшие сжимающие напряжения в нижней части бетонного ядра, препятствуя в дальнейшем появлению в нем трещин от действия внешних нагрузок. А при нагрузках, близких к разрушающим, когда в растянутой зоне бетонного ядра начинается трещинообразование, арматура будет воспринимать растягивающие усилия аналогично арматуре в железобетонных элементах.

На рис. 2 представлены возможные схемы натяжения армирующих элементов в трубобетонной балке. Очевидно, что для облегчения заполнения полости трубы бетоном эти элементы надо располагать или под углом, или вертикально, причем вполне можно применять и самоуплотняющийся бетон.

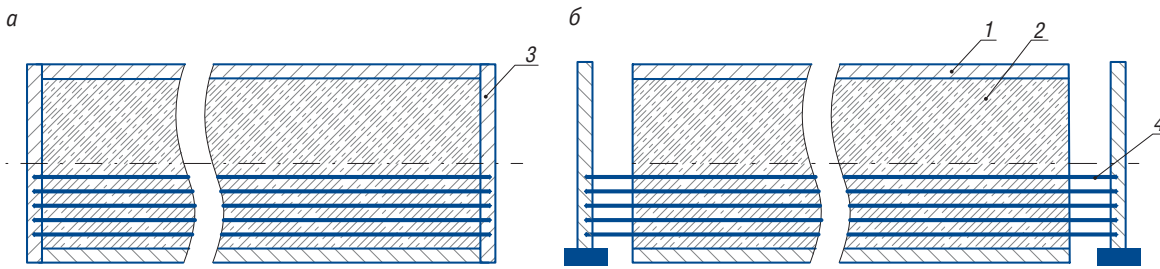


Рис. 2. Способы реализации асимметричного предварительного напряжения в трубобетонных балках: а — с передачей усилия на бетон ядра 2; б — с передачей усилия на упоры 3; 1 — старогодная нефтегазовая труба; 2 — бетонное ядро; 3 — торцевой упор; 4 — армирующие элементы (только арматура для б, стальной трос или арматура для а)

Напряженное состояние трубобетонной конструкции можно регулировать в широких пределах, создавая искусственные поля напряжений, благоприятные для работы несущей балки (управляя усилиями натяжения в армирующих элементах при создании предварительного напряжения). Важно отметить, что повышение грузоподъемности рассматриваемой прямой трубобетонной балки достигается не технологическими, а конструктивными мероприятиями. Это существенно снижает стоимость изготовления (в т. ч. путем использования старогодных нефтегазовых труб) и значительно расширяет эксплуатационные свойства балки. Так, в схеме на рис. 2, а можно вместо стальной арматуры применять стальные тросы, отделив их от бетонного ядра полимерными чехлами. При этом возникает возможность управления не только статическими, но и динамическими напряжениями в трубобетонной балке при ее использовании в пролетном строении малого моста. В таком случае можно говорить о классе малых мостов, адаптируемых к эксплуатационным нагрузкам.

В настоящее время практически отсутствуют методы расчета прямых трубобетонных балок для пролетных строений малых мостов. Расчетные методы должны учитывать особенности конструкции предлагаемых балок, в первую очередь рассматривать их как выполненных из композиционных материалов на неметаллической матрице, у которых поля напряжений в общем случае нелинейные и нестационарные. Кроме того, следует рассмотреть все физически реализуемые варианты совместной работы металлической трубчатой оболочки, бетонного ядра (матрицы) и армирующих элементов (стальной арматуры или стальных тросов), что позволит раскрыть потенциальные эксплуатационные свойства предлагаемой трубобетонной балки как элемента пролетного строения малых мостов.

Следует иметь в виду, что при поставке трубобетонных балок на строительную площадку их необходимо четко маркировать, чтобы не перепутать ориентацию балок с частично предварительно напряженным ядром при установке в проектное положение.

Дополнительно можно рассматривать повышение несущей способности трубобетонных балок на изгиб путем установки горизонтальной тонкостенной металлической (или фибропластиковой) перегородки и заполнения верхней части полости металлической трубчатой балки обычным бетоном, а нижней части — фибробетоном, что позволит более эффективно использовать возможности каждого материала.

Сравним несущую способность трубобетонной балки без предварительно напряженного бетонного ядра с предлагаемой предварительно напряженной балкой при плоском поперечном изгибе, исходя из прочности только бетона, а также полагая бетон работающим упруго, с одним и тем же модулем упругости при растяжении и сжатии. На рис. 3 изображена схема поперечного нагружения балки длиной  $l$  силой  $F$ .

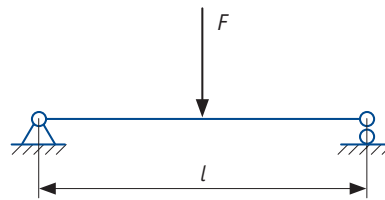


Рис. 3. Схема поперечного нагружения трубобетонной балки сосредоточенной нагрузкой

Обычно предельные нормальные напряжения при сжатии  $\sigma_{сж}$  бетона превышают предельные напряжения при растяжении  $\sigma_{раст}$  по модулю в 8–12 раз и более (по ГОСТ 10178–85 для бетона марки 600 предел прочности при сжатии 58,8 МПа, а предел прочности при растяжении изгиба — 6,4 МПа), т. е.:

$$\frac{\sigma_{сж}}{\sigma_{раст}} = \frac{|\sigma|}{|\sigma|} = 8 \div 12,$$

где  $\sigma_{сж} = -\sigma$  — максимальные нормальные напряжения сжатия бетона;  $\sigma_{раст} = +\sigma$  — максимальные нормальные напряжения растяжения бетона при изгибе.

На рис. 4 изображены эпюры нормальных напряжений.

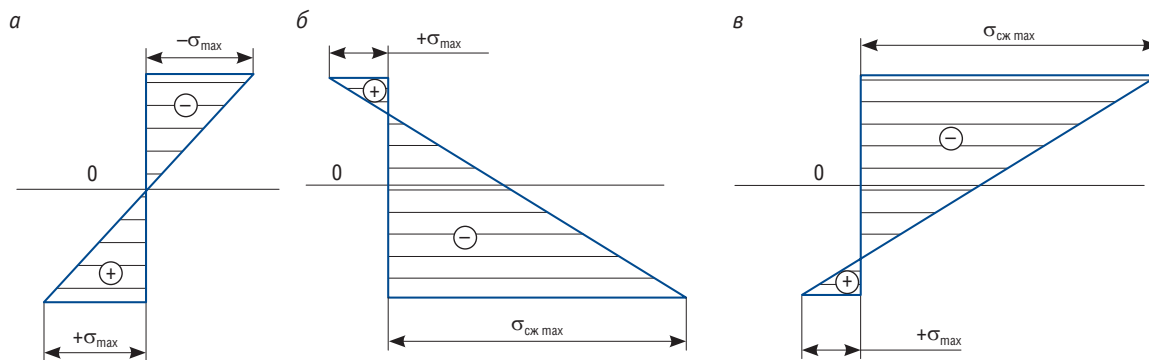


Рис. 4. Эпюры нормальных напряжений в бетонном ядре балки при различных условиях внутреннего и внешнего нагружения

На рис. 4, а изображена эпюра нормальных напряжений в бетонном ядре при нагрузке  $F_1$  балки без предварительного напряжения, где  $+\sigma_{\max}$  — предельные нормальные напряжения растяжения в нижней части бетонного ядра. На рис. 4, б изображена эпюра нормальных напряжений с частично предварительно напряженным бетонным ядром при отсутствии поперечной нагрузки, исходя из предельного значения нормального напряжения растяжения  $+\sigma_{\max}$  в верхнем сегменте бетонного ядра и предельного значения напряжения сжатия  $\sigma_{\text{сж.маx}}$  в нижнем сегменте ядра:

$$\frac{|\sigma_{\text{сж.маx}}|}{+\sigma_{\max}} = 10. \quad (1)$$

В (1) принято усредненное значение.

На рис. 4, в изображена эпюра напряжений в предлагаемой балке при полной нагрузке  $F_2$ , исходя из допустимого диапазона изменения напряжений.

Допускаемый диапазон изменения напряжений  $\sigma_{\text{доп}}$  в нижней точке бетонного ядра в предлагаемой балке с учетом соотношения (1), а также рис. 4, а составит:

$$\sigma_{\text{доп}} = |\sigma_{\text{сж.маx}}| + \sigma_{\max} = 10\sigma_{\max} + \sigma_{\max} = 11\sigma_{\max}. \quad (2)$$

Напряжения изгиба в балке без предварительно напряженного бетонного ядра (при нагрузке  $F_1$ , как показано на рис. 4, а):

$$+\sigma_{\max} = \frac{0,25F_1l}{Wz}, \quad (3)$$

где  $Wz$  — осевой момент сопротивления балки.

Предельные напряжения изгиба в балке с предварительно напряженным бетонным ядром, согласно соотношению (2), при действии нагрузки  $F_2$ :

$$\sigma_{\text{доп}} = \frac{0,25F_2l}{Wz}. \quad (4)$$

Другими словами, при известных из (2) значениях напряжений легко получить внешнюю максимальную поперечную нагрузку  $F_2$  на предлагаемую балку.

Из выражения (3) получим осевой момент сопротивления балки:

$$Wz = \frac{0,25F_1l}{\sigma_{\max}}.$$

И далее, используя выражение (4):

$$\sigma_{\text{доп}} = 11\sigma_{\max} = \frac{0,25F_2l\sigma_{\max}}{0,25F_1l}.$$

Окончательно имеем:

$$\frac{F_2}{F_1} = 11.$$

Таким образом, предлагаемая инновационная трубобетонная балка воспринимает в 11 раз большую поперечную нагрузку (т. е. имеет большую грузоподъемность), что является следствием увеличения прочности на изгиб трубобетонной балки за счет создания с помощью предварительно растянутых элементов арматуры поля неравномерно распределенных нормальных напряжений в поперечном сечении бетонного ядра и, как следствие, устранения трещинообразования в нижней части бетонного ядра при значительных поперечных нагрузках. А это позволяет использовать балку в качестве элемента пролетных строений малых мостов длиной до 25 м и средних мостов длиной до 50 м. Предлагаемую трубобетонную балку можно использовать в качестве конструкционного элемента для перекрытий в промышленном и гражданском строительстве. В настоящее время задача точного аналитического расчета предварительно напряженных трубобетонных балок (особенно с учетом нелинейности деформирования и неодинаковой работы бетона на растяжение и сжатие) до конца не решена.



Использование фибробетона или иного композиционного материала вместо обычного бетона повысит несущую способность трубобетонных балок и уменьшит трещинообразование фибробетонного ядра при изгибающих нагрузках.

Возможно использование балки с неметаллической оболочкой, например, из современных композитных материалов, таких как фибропластик, имеющих повышенную прочность, коррозионную стойкость и малый вес, что повышает также технологичность изготовления и сборки конструкции

Применение предварительно напряженных трубобетонных балок с некруглым поперечным сечением создает возможность их более широкого использования в различных конструкциях пролетных строений или строительных перекрытий, где более предпочтительной может оказаться форма сечения, отличная от круглой.

Возможно применение балок с переменным сечением в продольном направлении, что позволит увеличить несущую способность на участках, где присутствуют большие изгибающие моменты.

Изготовление трубобетонной предварительно напряженной балки можно проводить на месте строительства моста путем размещения армирующих элементов экс-

центрично в нижней части трубы через торцевые упоры с механизмами натяжения арматуры. Наполнение бетоном трубы следует производить в наклонном положении через технологические отверстия в упорах и трубе или при горизонтальном положении — закачиванием бетона в трубу под давлением. В обоих случаях труба может быть заранее установлена на опоры моста. Далее, после полного затвердевания бетона и передачи на него усилий от предварительно растянутых армирующих элементов, балка становится предварительно напряженной и готова к эксплуатации.

Удешевление технологии изготовления балки достигается за счет того, что на место строительства малого или среднего моста производится транспортировка полых труб, которые в 10 и более раз легче трубобетонных элементов. При этом не требуется большой транспорт и специальная грузоподъемная техника. Кроме того, возможно применение в качестве оболочки трубобетонных элементов старогодных нефтегазовых труб с допустимым износом поверхности, что приведет к удешевлению трубобетонных балок и всего мостового сооружения в целом. С учетом вышесказанного также обеспечивается повышение технологичности. **ИТ**

### Список литературы

1. Моисеев О. Ю., Парышев Д. Н., Овчинников И. Г., Харин В. В., Овчинников И. И. Трубобетонные балки с частично предварительно напряженным бетонным ядром для пролетных строений малых мостов // Материалы международной научно-практической конференции «Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе», ПНИПУ, г. Пермь, 14–15 апреля 2016 г. — С. 283–288.
2. Овчинников И. И., Овчинников И. Г., Чесноков Г. В., Михалдыкин Е. С. О проблеме расчета трубобетонных конструкций с оболочкой из разных материалов. Часть 2. Расчет трубобетонных конструкций с металлической оболочкой // Интернет-журнал «Науковедение». — 2015. — Т. 7, № 4. — URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/27TVN515.pdf>. — DOI: 10.15862/27TVN515
3. Кришан А. Л. Трубобетонные колонны с предварительно обжатым ядром / А. Л. Кришан : монография. — Ростов н/Д : Рост. гос. строит. ун-т, 2011. — 372 с.
4. Маренин В. Ф. Исследование прочности стальных труб, заполненных бетоном, при осевом сжатии : дис. ... канд. техн. наук. — М., 1959. — 231 с.
5. Долженко А. А. Трубчатая арматура в железобетоне : дис. ... д-ра техн. наук. — М., 1963. — 413 с.
6. Яровой И. С. Исследование напряженно-деформированного состояния гибких внецентренно сжатых трубобетонных элементов при кратковременном и длительном действии нагрузки : дис. ... канд. техн. наук. — Кривой Рог, 1974. — 195 с.
7. Дуванова И. А., Сальманов И. Д. Трубобетонные колонны в строительстве высотных зданий и сооружений // Строительство уникальных зданий и сооружений. — 2014. — № 6 (21). — С. 89–103. — ISSN 2304–6295.
8. Стороженко Л. И., Семко А. В. Сравнение методик расчета трубобетонных конструкций // Коммунальное хозяйство городов : научно-технический сборник. — 2005. — № 63. — С. 59–67. — ISSN 0869-1231.



**Татьяна Николаевна  
Каликина**

**Tatiana N. Kalikina**



**Юрий Анатольевич  
Давыдов**

**Yuriy A. Davidov**



**Артем Константинович  
Пляскин**

**Artem K. Plyaskin**



**Максим Юрьевич  
Кейно**

**Maxim Y. Keino**

## Организация тяжеловесного движения на восточном участке Байкало-Амурской магистрали

## Organization of heavy weight traffic at the eastern section of Baikal-Amur Mainline Railway

### Аннотация

Статья посвящена проблеме организации вождения тяжеловесных поездов на ключевом участке Байкало-Амурской магистрали. Срочная необходимость внедрения новых технологий вызвана быстрорастущим потоком угля к терминалам Ванинского морского порта.

**Ключевые слова:** тяжеловесное движение, Байкало-Амурская магистраль.

### Summary

The paper is dedicated to the problem of heavy weight train driving management at the key section of Baikal-Amur Mainline Railway. Urgent need for implementation of the new technology is caused by the rapidly increasing coal stream to the terminals of Vanino sea port.

**Key words:** heavy weight traffic, Baikal-Amur Mainline Railway.

DOI:10.20291/2311-164X-2016-2-72-74

### Авторы Authors

**Татьяна Николаевна Каликина**, канд. техн. наук, доцент, заведующая кафедрой «Организация перевозок и безопасность на транспорте» Дальневосточного государственного университета путей сообщения, Хабаровск; e-mail: kalikina@festu.khv.ru | **Юрий Анатольевич Давыдов**, д-р техн. наук, профессор кафедры «Локомотивы», ректор Дальневосточного государственного университета путей сообщения, Хабаровск; e-mail: puch@festu.khv.ru | **Артем Константинович Пляскин**, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Локомотивы» Дальневосточного государственного университета путей сообщения, Хабаровск; e-mail: loc@festu.khv.ru | **Максим Юрьевич Кейно**, старший преподаватель кафедры «Локомотивы» Дальневосточного государственного университета путей сообщения, Хабаровск; e-mail: max@festu.khv.ru

**Tatiana Nikolaevna Kalikina**, PhD in Engineering, Associate Professor, Head of Department "Organization of transportation and transportation security", Far Eastern State Transport University, Khabarovsk; e-mail: kalikina@festu.khv.ru | **Yuriy Anatolievich Davidov**, DSc in Engineering, Professor of the Department "Locomotives", Rector of the Far Eastern State Transport University, Khabarovsk; e-mail: puch@festu.khv.ru | **Artem Konstantinovich Plyaskin**, PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Department "Locomotives" of the Far Eastern State Transport University, Khabarovsk; e-mail: loc@festu.khv.ru | **Maxim Yurievich Keino**, Senior Lecturer of the Department "Locomotives" of the Far Eastern State Transport University, Khabarovsk; e-mail: max@festu.khv.ru

Восточный участок Байкало-Амурской магистрали является ключевой железнодорожной линией, связывающей континентальную часть магистрали с незамерзающими портами Советской Гавани и Ванино.

Нагрузка на эту однопутную линию складывается из поездопотоков, подходящих по нескольким направлениям. Уже сегодня объемы грузов, направляемые на портовые терминалы, превышают возможности восточного участка БАМа, в частности, линии Комсомольск — Ванино. Суммарная мощность поездопотоков, подводимых к Комсомольску, превышает 40 поездов в сутки.

В ближайшее время ожидается прирост грузопотоков на восточном полигоне БАМа за счет освоения месторождений полезных ископаемых на территории Дальневосточного федерального округа и республики Саха. Основной грузопоток планируется направить в порты Дальнего Востока [1]. Часть грузов с месторождений зоны БАМа будет направлена на порты юга Приморья, но значительная часть объемов грузопотока планируется на направлении Комсомольск — Ванино. В связи с этим к 2030 г. потребуются увеличение провозной способности данного направления в 4 раза. Анализ текущего состояния перевозочной инфраструктуры показал, что наличная пропускная способность по ограничивающим перегонам на восточном полигоне БАМа дифференцирована по участкам. На полигоне 8 % станций имеют два пути, 38 % — три пути, 16 % станций имеют длину приемоотправочных путей менее 1050 м. Кроме того, в среднесрочной перспективе к числу лимитирующих элементов присоединится и однопутный железнодорожный мост через реку Амур.

Существуют различные способы увеличения пропускной и провозной способности. Известно, что основными способами, позволяющими на длительный срок увеличить пропускную способность однопутной линии, являются:

- организация пакетного движения поездов;
- удлинение приемоотправочных путей на станциях и разъездах с одновременным усилением мощности тяги для повышения норм массы поездов;
- открытие дополнительных разъездов на перегонах, ограничивающих пропускную способность железнодорожных участков;
- изменение типа тяги;
- сооружение дополнительных главных путей на перегонах — двухпутных вставок для безостановочных скрещений и, наконец, сплошного второго пути [2, 3].

Все способы усиления пропускной способности однопутных линий можно применять в различных комбинациях и очередности. Целесообразно поэтапно выполнять мероприятия, обеспечивающие поступательный рост массы поезда и провозной способности участков.

Мероприятия по увеличению пропускной способности в этом случае являются традиционными, десятилетиями апробированными на железных дорогах Российской Федерации [3, 4]. Достоинство данной методики состоит в том, что увеличение пропускной способности обеспечивается за счет капитальных вложений в путевое развитие участков и станций, что в результате не требует совершенствования технологии пропуска вагонопотоков. Основными недостатками являются: потребность в значительных инвестициях и ресурсах; длительный период времени, необходимый для развития железнодорожной инфраструктуры БАМа, не позволяющий осваивать возрастающие объемы перевозок в ближайшей перспективе.

Проведенные в ДВГУПС исследования [5] показали, что такие мероприятия, как удлинение приемоотправочных путей до 1050 м на 19 и до 1100 м на пяти отдельных пунктах, ликвидация ограничений скорости на 52 перегонах, строительство 71 дополнительного приемоотправочного пути, строительство 17 двухпутных вставок (разъездов), строительство второго главного пути на пяти перегонах, приведут к увеличению пропускной способности на 70 %. Если на следующем этапе провести мероприятия по ликвидации ограничений скорости на шести перегонах, осуществить строительство двух дополнительных приемоотправочных путей на двух отдельных пунктах, строительство 87 двухпутных вставок (разъездов) на 84 перегонах и строительство второго главного пути на 12 перегонах, то возможно повышение пропускной способности еще на 46 %. Сооружение сплошного второго главного пути позволит достигнуть требуемых значений пропускной способности, но потребует инвестиций порядка 115 млрд рублей.

В университете рассмотрен вопрос перехода линии на электрическую тягу. Из-за инфраструктурных ограничений переход на электрическую тягу и повышение массы поезда до 7100 т позволит увеличить пропускную способность на 2 %, а провозную — на 8 %. Безусловно, в текущих условиях электрификация позволит решить вопрос с надежностью локомотивного парка, но значимого прироста в провозной способности она не даст. Следовательно, требуется поиск путей инновационного развития БАМа и участка Комсомольск — Ванино, которые заключаются в необходимости применения новых подходов к организации перевозочного процесса. Одним из направлений повышения провозной способности является повышение среднего веса грузовых поездов с учетом структуры грузопотоков. Применение технологии вождения поездов повышенной массы позволит обеспечить значительный резерв пропускной способности, полностью обеспечив реализацию потребной провозной способности. Так, например, для реализации провозной способности 48,8 млн т при пропуске всего четырех поездов массой 9000 т, остальных — массой 6300 т потребная пропускная

способность уменьшится на 8%. При пропуске всего четырех поездов массой 12 000 т, остальных — массой 6300 т потребная пропускная способность уменьшится на 15%. При пропуске всего четырех поездов массой 15 000 т, остальных — массой 6300 т потребная пропускная способность уменьшится на 21%. В этом случае укладка сплошного второго главного пути понадобится только к моменту реализации потребной провозной способности более 70,8 млн т.

Пропуск по участку с лимитирующей пропускной способностью поездов повышенной массы позволяет «сместить» потери времени с перегона на станции формирования и расформирования поездов. Тем самым высвобождается бюджет времени для пропуска дополнительных поездов. Важно обеспечить высокую ходовую скорость поезда повышенной массы на лимитирующих перегонах с затяжными подъемами и спусками. Для этого тяговое обеспечение тяжеловесного поезда должно выбираться из условия проследования перевальных участков с минимальным ходовым временем и скоростью, значительно выше критической для используемого типа локомотива. Кроме того, задержки в движении тяжеловесного поезда нерациональны как с точки зрения расхода топлива на повторный разгон поезда, так и с точки зрения блокирования поездоучастка и горловин станции остановившимся поездом. Следовательно, с учетом относительно небольшой длины лимитирующего участка при формировании требуется постановка в поезд такого числа тяговых секций, которые обеспечат безостановочный проход до станции смены локомотивных бригад.

С использованием эксплуатируемых на данном участке тепловозов ЗТЭ10МК вождение поездов повышенной массы может быть организовано с использованием схем формирования поездов с распределенной тягой.

С учетом величины расчетного подъема 18‰ необходимое суммарное тяговое усилие для поезда мас-

сой 9000 т составляет 1665 кН, а при массах 12 000 и 15 000 т — 2221 и 2776 кН соответственно. Схемы формирования поездов с распределенной тягой в этом случае могут быть определены с использованием имеющихся в наличии трех- и двухсекционных локомотивов [6, 7]. Однако наибольший интерес представляют решения, обеспечивающие дистанционное управление секциями тепловозов одним машинистом. В ДВГУПС разработан проект, обеспечивающий сопряжение совместно работающих двух- и трехсекционных тепловозов. Оснащение тепловозов таким оборудованием позволит обеспечить пропуск поездов повышенной массы.

К сожалению, на эксплуатируемых локомотивах ТЭ10 отсутствует электродинамический тормоз, поэтому на спусках возможно использование только пневматических тормозов, что снижает среднюю скорость движения и приводит к нагреву и износу тормозных колодок и колес. При выборе тягового обеспечения для замены эксплуатируемого парка следует отдать предпочтение локомотивам, оснащенным эффективным электродинамическим тормозом.

Достоинствами данного подхода являются:

- возможность применения новых технических и технологических решений;
- поэтапное развитие пропускной способности БАМа, позволяющее рационально использовать выделяемые ОАО «РЖД» и государством финансовые средства;
- возможность увеличения пропускной и провозной способности в ближайшее время;
- возможность организации перевозочного процесса без серьезных дополнительных людских ресурсов в зоне БАМа;
- отсутствие необходимости вложения огромных государственных средств. **ИТ**

## Список литературы

1. Стратегия социально-экономического развития Дальнего Востока и Байкальского региона на период до 2025 года: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 28.12.2009 № 2094-р.
2. Макарович А. М., Дьяков Ю. В. Использование и развитие пропускной способности железных дорог. — М.: Транспорт, 1981. — 287 с.
3. Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог: утв. первым вице-президентом ОАО «РЖД» В. Н. Морозовым № 128 от 10.11.2010 г. — М.: Изд-во «ТЕХИНФОРМ», 2011.
4. Технич.-технологические параметры железнодорожных направлений в условиях параллельных норм массы и длины грузовых поездов: монография / С. А. Пласскин. — Екатеринбург: УрГУПС, 2011. — 172 с.
5. Комплексные исследования и получение научно обоснованных рекомендаций по увеличению транзитного потенциала и развития импортно-экспортного потенциала железнодорожной инфраструктуры за счет увеличения пропускных возможностей Байкало-Амурской магистрали: отчет о научно-исследовательской работе по реализации федеральной целевой программы «Модернизация транспортной системы России» (ФКУ «Ространсmodernизация»). — Хабаровск: ДВГУПС, 2012.
6. Лисицын А. Л. Выбор рациональных схем формирования поездов повышенной массы и длины // Сборник научных трудов ВНИИЖТ. — 1992. — С. 4–13.
7. Инструкция по организации обращения грузовых поездов повышенной массы и длины на железнодорожных путях общего пользования ОАО «РЖД»: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 28.08.2012 г. № 1704р.

# Итоги IV Уральского регионального конкурса инновационных проектов молодежи «Технологии для модернизации транспортного комплекса России»

Конкурс инновационных проектов «Технологии для модернизации транспортного комплекса России» проводится четвертый год. Цель конкурса — привлечение молодежи к научно-технической деятельности по проблемам транспорта.

## ОРГАНИЗАТОРЫ КОНКУРСА:

- Уральское межрегиональное отделение Российской академии транспорта (УрО РАТ)
- Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС)
- Малый транспортный университет УрГУПС
- Ассоциация транспортных образовательных учреждений УрФО и Пермского края

## ПОБЕДИТЕЛИ КОНКУРСА:

### Категория «Ученики 10–11-х классов общеобразовательных школ»

**1-е место: Логинова Анна Николаевна**, тема работы «Двигатель на воде: миф или реальность» (Челябинская обл., г. Верхний Уфалей, школа № 2).

**2-е место: Секисов Андрей Александрович**, тема работы «Изучение влияния вибрационных нагрузок на деформационную устойчивость кузова автомобиля на основе спектрального анализа резистивной пьезометрии» (Челябинская обл., г. Верхний Уфалей, школа № 1).

**3-е место: Береговой Ян Геннадьевич**, тема работы «Модель плазменного двигателя для искусственных космических объектов» (г. Челябинск, лицей № 97).

Научный руководитель победителей – **Красавин Эдуард Михайлович**, учитель технологии средней общеобразовательной школы № 2 г. Верхнего Уфалея Челябинской области.

### Категория «Учащиеся специализированных и средних профессиональных учреждений, а также отделений СПО и I–II курсов ВПО вузов»

**1-е место: Беломестных Владимир Александрович и Грушковская Ангелина Олеговна**, тема работы «Система защиты от механических повреждений при ЧС на транспорте и в горах с повышением процента выживаемости пострадавших» (КИЖТ УрГУПС).

Научный руководитель – доцент КИЖТ УрГУПС **Казенас Владимир Евгеньевич**.

**2-е место: Мурчин Михаил Андреевич**, тема работы «Система уменьшения расхода топлива и снижения дымности маневровыми тепловозами» (Чувашия, филиал СамГУПС в г. Алатыре).

Научный руководитель – преподаватель **Краснов Александр Иович**.

**3-е место: Талапина Виктория Николаевна**, тема работы «Предложение реконструкции вокзала Брянск-Орловский к потребностям инвалидов и малоподвижных групп населения» (филиал МИИТ в г. Брянске).

Научный руководитель – преподаватель **Ермакова Татьяна Александровна**.

**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> <u>Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС</u> <b>КПП:</b> <u>667001001</u> <b>ИНН:</b> <u>6670317893</u> <b>ОКТМО:</b> <u>65701000</u> <b>Р/сч.:</b> <u>40703810863010000192</u> <b>в:</b> <u>ПАО КБ «УБРИР» филиал ССБ</u> <b>БИК:</b> <u>046577795</u> <b>К/сч.:</b> <u>30101810900000000795</u> <b>Код бюджетной классификации (КБК):</b> _____ <b>Платеж:</b> <u>Пожертвование для поддержки научных журналов УрГУПС</u> <b>Плательщик:</b> _____ <b>Адрес плательщика:</b> _____ <b>ИНН плательщика:</b> _____ <b>№ л/сч. плательщика:</b> _____ <b>Сумма:</b> _____ руб. ____ коп.  Подпись: _____ Дата: « ____ » _____ 2016 г.</p>
<b>Квитанция</b>	<p><b>Получатель:</b> <u>Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС</u> <b>КПП:</b> <u>667001001</u> <b>ИНН:</b> <u>6670317893</u> <b>ОКТМО:</b> <u>65701000</u> <b>Р/сч.:</b> <u>40703810863010000192</u> <b>в:</b> <u>ПАО КБ «УБРИР» филиал ССБ</u> <b>БИК:</b> <u>046577795</u> <b>К/сч.:</b> <u>30101810900000000795</u> <b>Код бюджетной классификации (КБК):</b> _____ <b>Платеж:</b> <u>Пожертвование для поддержки научных журналов УрГУПС</u> <b>Плательщик:</b> _____ <b>Адрес плательщика:</b> _____ <b>ИНН плательщика:</b> _____ <b>№ л/сч. плательщика:</b> _____ <b>Сумма:</b> _____ руб. ____ коп.  Подпись: _____ Дата: « ____ » _____ 2016 г.</p>

# 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.

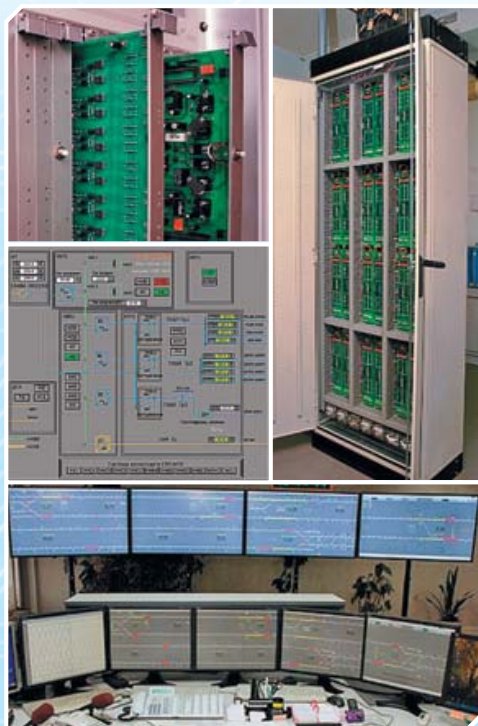
**Диаграммы, схемы и таблицы** могут быть представлены в форматах MS Excel, MS Visio, MS Word (сгруппированные). Отдается предпочтение исходным файлам, которые допускают редактирование рисунка. Допускаются изображения, конвертированные в форматы \*.cdr, \*.cmx, \*.eps, \*.ai, \*.wmf, \*.cgm, \*.dwg.

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

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



Научно-исследовательская лаборатория  
**«Компьютерные системы автоматики»**  
ФГБОУ ВО УрГУПС



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

- ЭЦ-МПК — 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  
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.
- Сопровождение программного продукта «Автоматизированное рабочее место проектировщика контактной сети» АРМ КС.
- 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 токосяема железнодорожного транспорта.

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



Наш адрес: 620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, корпус Б, оф. 303.  
Для переписки: 620042, г. Екатеринбург, а/я 180. Тел./факс: (343) 221-25-27, 8-950-63-77-440.  
E-mail: [saprks@mail.ru](mailto:saprks@mail.ru). Веб-сайт: [www.sapr-ks.usurt.ru](http://www.sapr-ks.usurt.ru)

