

# ИННОВАЦИОННЫЙ ТРАНСПОРТ

№ 3 (21)

I N N O T R A N S

сентябрь 2016



УрГУПС

Уральскому государственному  
университету путей сообщения — 60 лет!

Международная  
логистика  
Транссиба

Перспективы развития  
транспортно-логистического  
комплекса Екатеринбурга

К вопросу безопасности  
пассажира на высокой  
железнодорожной платформе



## Александр Геннадьевич Галкин

*Доктор технических наук, профессор, ректор УрГУПС,  
председатель Уральского отделения РАТ,  
главный редактор журнала «Инновационный транспорт»*

### Уважаемые коллеги, читатели!

В ноябре 2016 года Уральский государственный университет путей сообщения празднует свое 60-летие. В настоящее время УрГУПС является единственным транспортным вузом в Уральском регионе и Пермском крае, который готовит специалистов по программе высшего образования железнодорожного профиля.

Исторически сложилось так, что УрГУПС расположен на обособленной территории площадью 20 га у городского пруда, все развитие университетского кампуса происходило компактно и логически продумано.

В настоящее время в структуру университета входят главный корпус, восемь общежитий и семь крупных территориальных подразделений в Екатеринбурге, Челябинске, Перми, Тюмени, Кургане, Златоусте, Нижнем Тагиле.

Гордостью нашего университета прежде всего является профессорско-преподавательский состав, который воплощает в жизнь нелегкую современную задачу подготовки специалистов высшего и среднего звена — нашего молодого поколения железнодорожников, автомобилистов, строителей, экономистов.

Довольно обширны и международные связи университета. Необходимо отметить сотрудничество с такими странами, как Китай, Южная Корея, Казахстан, Беларусь, Германия, Бельгия, Великобритания.

Развитие спортивной жизни университета позволило нашим спортсменам семь раз подряд выйти победителями соревнований между железнодорожными университетами России, а совсем недавно были завоеваны золотые медали чемпионов мира по гребле в классе каноэ «Дракон». Больших успехов достигли наши спортсмены в плавании, волейболе, футболе и силовых видах спорта.

Отмечая праздничную дату, хотелось бы пожелать всем нашим сотрудникам, студентам, выпускникам нашего университета и ветеранам хорошего праздничного настроения, воплощения творческих замыслов, успехов, здоровья и благополучия.

# Инновационный транспорт

Научно-публицистическое издание

№ 3 (21), 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, e-mail: innotrans@mail.ru

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

Свидетельство на товарный знак (знак обслуживания) № 586908.  
Зарегистрировано в Государственном реестре товарных знаков  
и знаков обслуживания РФ 14.09.2016 г.

Отпечатано в соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета  
в типографии ООО «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 30.09.2016. Печать офсетная.

Тираж 1000 экз. Заказ № 000797.

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

**Денис Викторович Ломотко**, 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 (Казахстан).

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

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

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

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

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

# Innotrans

Scientific-and-nonfiction edition

№ 3 (21), 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. E-mail: innotrans@mail.ru

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

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

Released for printing on 30.09.2016. Offset printing.

Circulation 1000 copies.

© ФГБОУ ВО Урал 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

## Организация производства (транспорт)

<i>Покровская О. Д., Самуйлов В. М.</i> Международная логистика Транссибирской магистрали: использование транзитного потенциала России . . . . .	3
<i>Шаюхов Т. Т.</i> Расчет удельных норм и прогнозирование электропотребления на промышленных предприятиях . . . . .	8
<i>Расулов М. Х., Ризаев А. Н., Гуламов А. А.</i> К вопросу управления кадрами в инновационной среде железнодорожного транспорта акционерного общества «Узбекистон темир йўллари» . . . . .	13

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

<i>Гаянова В. М., Самуйлов В. М., Чуркин В. Н., Ялунина Е. Н.</i> Перспективы развития транспортно-логистического комплекса Екатеринбурга . . . . .	17
<i>Смирнова О. Ю., Полякова Т. Ю., Ухалова Е. А.</i> К вопросу о классификации маршрутов пригородного пассажирского сообщения . . . . .	21

## Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

<i>Ши Мяомяо, Чжан Сюцзюань, Ян Дашунь, Ван Бо.</i> Анализ посадки бандажа колесной пары с натягом методом конечных элементов . . . . .	25
<i>И Чживэнь, Чжан Сюцзюань, Ян Дашунь, Ван Бо.</i> Изучение влияния свойств материалов на производительность прессы при формировании колесной пары . . . . .	31
<i>Владыкин А. В., Фролов Н. О.</i> Поиск оптимального состояния привода с точки зрения энергоэффективности подвижной единицы . . . . .	36
<i>Джаббаров С. Т., Мирахмедов М., Мардонов Б. М.</i> К вопросу безопасности пассажира на высокой железнодорожной платформе при прохождении высокоскоростного поезда . . . . .	39
<i>Карнаухов Н. Ф., Статовой Д. А.</i> Формирование электромагнитного момента вентильно-индукторного двигателя при управляемом токе размагничивания зубцов статора . . . . .	45
<i>Пышкин А. А.</i> Оценка пропускной способности участка с учетом режима напряжения в тяговой сети постоянного тока . . . . .	49
<i>Коваленко В. Н., Наговицын В. С., Гришаев С. Ю.</i> Проблема безопасности движения поездов и пути ее решения . . . . .	53
<i>Баева И. А.</i> Учет потерь электрической мощности в трансформаторах тяговых подстанций постоянного тока . . . . .	60

## Эксплуатация автомобильного транспорта

<i>Смердов Д. Н., Клементьев А. О.</i> Отечественный и зарубежный опыт экспериментальных исследований изгибаемых бетонных элементов, армированных полимерной композиционной арматурой . . . . .	65
---	----

# CONTENTS

## The organization of production (transport)

<i>Oksana D. Pokrovskaya, Valeriy M. Samuylov.</i> International Logistics of Trans-Siberian Railway: The use of transit potential of Russia . . . . .	3
<i>Timur T. Shayuhov.</i> Calculation of the specific norms and forecasting of energy consumption in industrial plants . . . . .	8
<i>Marufdzhan H. Rasulov, Abdumalik N. Rizaev, Abdulaziz A. Gulamov.</i> On the issue of personnel management in the innovation environment of railway transport of the Joint Stock Company "Uzbekiston Temir Yullari" . . . . .	13

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

<i>Venera M. Gayanova, Valeriy M. Samuylov, Valery M. Samuylov, Ekaterina N. Yalunina.</i> Development prospects of transport and logistics hub in Yekaterinburg . . . . .	17
<i>Olga Y. Smirnova, Tatiana Y. Polyakova, Ekaterina A. Uhalova.</i> On the classification of the suburban passenger routes . . . . .	21

## Rolling stock, hauling operation and electrification

<i>Shi Miaomiao, Zhang Xiujuan, Yang Dashun, Wang Bo.</i> Finite Element Analysis of Interference Fit in a Wheelset Assembly . . . . .	25
<i>Yi Zhiwen, Zhang Xiujuan, Yang Dashun, Wang Bo.</i> Influence Study of Material Properties on the Press-Assembly Performance of Wheelset . . . . .	31
<i>Aleksey V. Vladykin, Nikolay O. Frolov.</i> Search for the best status of a drive from the point of view of energy efficiency of a mobile unit . . . . .	36
<i>Saidburhan T. Jabbarov, Makhmadzhan Mirakhmedov, Batyrzhan M. Mardonov.</i> On the question of the safety of the passenger on a high railway platform when high-speed train is passing by . . . . .	39
<i>Nikolai F. Karnaukhov, Dmitry A. Statovoy.</i> Formation of the electromagnetic torque of the engine valve-inductor with the controlled current of the demagnetization of the stator teeth . . . . .	45
<i>Anatoliy A. Pyshkin.</i> Capacity plot evaluation based on voltage mode in DC traction network . . . . .	49
<i>Vladimir N. Kovalenko, Viktor S. Nagovicyin, Sergey Y. Grishaev.</i> The problem of rail traffic safety and its solutions . . . . .	53
<i>Irina A. Baeva.</i> Accounting for electric power losses in transformers, DC traction substations . . . . .	60

## Operation of motor transport

<i>Dmitri N. Smerdov, Alexey O. Klementiev.</i> Domestic and foreign experience of experimental research of bent concrete elements reinforced with polymer composite reinforcement . . . . .	65
--	----



Оксана Дмитриевна  
Покровская

Oksana D. Pokrovskaya



Валерий Михайлович  
Самуйлов

Valeriy M. Samuylov

## Международная логистика Транссибирской магистрали: использование транзитного потенциала России

### International Logistics of Trans-Siberian Railway: The use of transit potential of Russia

#### Аннотация

В статье рассматриваются проблемные вопросы международного грузодвижения по Транссибирской магистрали. Изучен вопрос полноты использования транзитного потенциала России.

**Ключевые слова:** Транссибирская магистраль, международная логистика, контейнерные перевозки, транзит, инфраструктура транспортных коридоров.

#### Abstract

The article deals with the problematic issues of international freight traffic on the Trans-Siberian Railway. The problem of completeness of use of transit potential of Russia.

**Keywords:** Trans-Siberian railway, international logistics, container transport, transit, infrastructure of transportation corridors.

DOI:10.20291/2311-164X-2016-3-3-7

#### Авторы Authors

*Оксана Дмитриевна Покровская, канд. техн. наук, доцент кафедры «Логистика, коммерческая работа и подвижной состав» Сибирского государственного университета путей сообщения (СГУПС), Новосибирск; e-mail: insight1986@inbox.ru | Валерий Михайлович Самуйлов, д-р техн. наук, профессор кафедры «Мировая экономика и логистика» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург*

*Oksana Dmitrievna Pokrovskaya, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department "Logistics, commercial work and rolling stock" of the Siberian State University of Railway Transport (SSURT), Novosibirsk; e-mail: insight1986@inbox.ru | Valery Mikhailovitch Samuylov, Doctor of Engineering Science, professor of the department "World Economics and Logistics", Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg*

«Российские железные дороги» отмечают в числе одного из приоритетов своей работы до 2030 года развитие Транссибирской магистрали как транзитной транспортной артерии (рис. 1). Предполагается, что ее развитие способно перевести транзитный поток Азия — Европа и обратно с морского транспорта на железнодорожный. Однако участники рынка сомневаются в реалистичности этих планов и настаивают на первоочередной необходимости ликвидации «узких мест» на подходах к портам и улучшения работы.

Об актуальности вопроса повышения эффективности транссибирских перевозок свидетельствуют требования логистического рынка к высоким пропускным способностям магистрали и ускорения доставки грузов по ней.

В настоящее время годовая пропускная способность Транссиба составляет до 120 млн тонн в год. Такие данные в ходе семинара АТЭС «Обмен лучшими практиками в области бесшовных интермодальных грузоперевозок» привел заместитель начальника отдела развития транспортных коридоров и логистики Департамента программ развития Министерства транспорта России Константин Тихонов. По его словам, программа развития магистрали предполагает строительство вторых главных путей общей протяженностью 4 тыс. км, обходов почти всех основных железнодорожных узлов, проведение электрификации на протяжении 7 тыс. км и модернизацию цифровой технологической сети. Для развития транзитного потенциала Транссиба также предполагается создание логистики железнодорожных перевозок «от двери к двери», образование логистических компаний с конкурентоспособными «сквозными тарифами», развитие страховых услуг для транзитных грузов [6]. При этом разгрузку европейского участка Транссиба планируется обеспечить за счет развития портов Архангельск и Мурманск и железнодорожных путей к ним.

По мнению экспертов Евро-азиатской логистической ассоциации, перевозка партии автокомпонентов из Японии в европейскую часть России через Транссиб обойдется дешевле и займет меньше времени, чем морским путем с перевалкой в порту Гамбург. Транссиб перспективен для перевозок оборудования «Росатома» в Японию, а также контейнеров с автокомпонентами для автомобильных заводов в европейской части России. Для этого необходимо создавать логистическую инфраструктуру вокруг Москвы, а не в ее центре, как сейчас.

Тем не менее многие эксперты и участники рынка считают, что Транссиб как транзитная магистраль в обозримой перспективе не сможет составить серьезной конкуренции традиционным морским маршрутам, для чего необходим конкурентоспособный уровень сервиса, которого нет. В реальности можно простоять три недели в ожидании платформы. Очень долго проверяют государственные контролирующие органы, что ведет к переполнению терминалов [1].

Транссиб проходит по малонаселенным регионам России, где не просто отсутствует инфраструктура, но нет реальных оснований для ее развития, даже при значительном участии государства в проектах. К тому же «РЖД» является монополией, а эксклюзивные тарифные и временные условия способны получить только крупные грузоотправители. Также необходимо организовать регулярное движение контейнерных поездов по расписанию с доступом к ним разных грузоотправителей и развивать логистические парки.

Если Транссиб не имеет обозримых перспектив как транзитная магистраль, то его развитие, как и Байкало-Амурской магистрали (БАМа), остро необходимо для увеличения пропускной способности для экспорта сырьевых грузов (в первую очередь угля, в перспективе — зерна) через дальневосточные порты в страны Азиатско-Тихоокеанского региона. По словам Константина Тихонова, к 2020 году пропускная способность БАМа должна увеличиться до 93 млн тонн грузов в год за счет строительства второго главного пути. А за счет строительства Кузнецовского тоннеля и реконструкции участка дороги по направлению к портам Ванино и Советская Гавань пропускная способность на эти порты возрастет с 12 до 50 млн тонн в год к 2020 году. Это будет весьма кстати, если учесть, что к реализации на Дальнем Востоке заявлено сразу несколько крупных портовых проектов по перегрузке угля, нефти, зерна, железорудного концентрата, контейнеров и других грузов. Их реализация совокупно увеличит пропускную способность дальневосточных портов почти на 100 млн тонн в год.

Эксперты сходятся в том, что вместо громадных инвестиций в очередную «стройку века» было бы целесообразнее сосредоточиться на улучшении качества сервиса в морских портах и на железной дороге, внедрении информационных систем, сокращении времени оформления грузов государственными контролирующими органами, создании логистических центров там, где они действительно необходимы.

В настоящее время из-за «узких мест» на железных дорогах, общая протяженность которых исчисляется 7000 км, в России не используется порядка 30% портовых мощностей. Эту проблему можно смягчить через внедрение диспетчеризации, прописав функции каждого участника транспортного процесса, и через создание единой информационной системы. Необходимо наладить работу единой системы отслеживания грузов с использованием спутниковых систем GPS и ГЛОНАСС, что позволит ускорить обработку грузов до 7 раз. Также нужна и реально работающая система «одного окна», для чего у государственных органов должна иметься единая база данных и единые формы и процедуры оформления грузов.

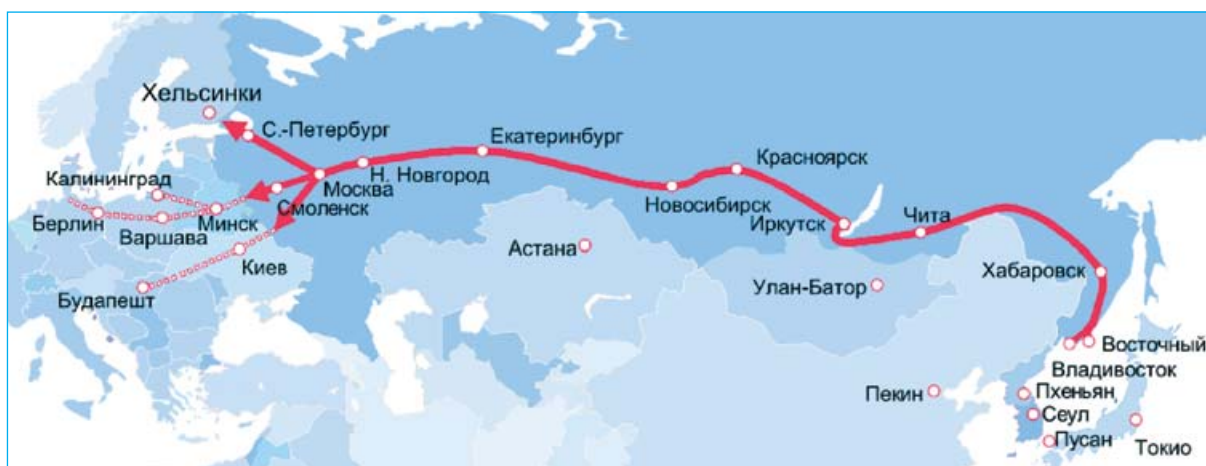


Рис. 1. Транссибирская магистраль, Россия [3]

Многое сделано для упрощения и ускорения оформления грузов в морских пунктах пропуска. Так, была издана новая Типовая схема пропуска через госграницу в морских портах, в соответствии с которой предусматривается возможность бескомиссионного оформления [3].

При нынешней динамике российско-китайский товарооборот в 2015 г. может выйти на сумму 100 млрд долларов, а к 2020 г. — 200 млрд долларов. Такая динамика логична в условиях санкционной войны. От «разворота» на Восток выиграют российские транспортные операторы и прежде всего ОАО «РЖД». Однако проблема в том, что Транссиб — магистраль медленная и затратная, поэтому западные и восточные транспортные компании предпочитают другие маршруты по доставке грузов [1].

Правительство оценивает ежегодный потенциал магистрали в 100 млн тонн, однако только при условии реконструкции дороги. Например, только на участке ЗабЖД Транссиба 28,3% искусственных сооружений являются дефектными, а у 45,1% имеются значительные кривые участки. Также в России в нужных объемах не производят рельсовые плети с повышенным сроком службы, а вагоны-рельсосмазыватели по путям курсируют крайне плохо. На некоторых участках Транссиба вблизи путей постоянно выгуливают крупный рогатый скот, что вынуждает машинистов к экстренному торможению в случае выхода животных на пути. На многих участках магистрали процветает банальное воровство, когда с путей воруют даже рельсы. Такая ситуация на дороге отпугивает импортеров, так как перевозятся дорогостоящие грузы. Еще более удивляет низкая средняя скорость движения поездов на некоторых участках, где она может составлять 15–35 км/ч. Средняя скорость железнодорожной доставки грузов в России составляет 295 км в сутки, а вот в Китае — 1080 км в сутки. Средняя же цена транзитной доставки одного килограмма китайского ширпотреба в центр России обходится грузовладельцу в 5 долларов.

Тем не менее многие европейские импортеры интересуются Транссибом, например те, кто занимается доставкой и растаможиванием грузов из Франции в Китай и обратно. Некоторые из них даже предлагают заплатить лишнюю тысячу долларов за транзит одного контейнера по отношению к морским перевозкам. Однако они выдвигают условие, чтобы груз из Владивостока в Европу был доставлен в течение 10 дней. Но на самом деле контейнер из Китая в Москву по железной дороге может идти более 45 суток. При этом стоимость доставки одного 20-футового контейнера из Китая в Москву составляет 6300 долларов, 1850 из которых уходит только на доставку из Поднебесной до Владивостока. Поэтому все выбирают морские перевозки через Балтику и финские порты. В таком случае стоимость доставки одного 40-футового контейнера с оформлением для отправки в Россию составляет 3100–3200 долларов.

Таким образом, очевидно, что Россия не использует свой транзитный потенциал надлежащим образом [5]. Однако есть известные сервисы по доставке контейнерных грузов по Транссибу за 7 суток, а новый сервис предлагает доставку за 6 суток, на обратном пути доставляя грузы из Польши в Россию, из Испании, Германии и Франции. Однако, по мнению экспертов, такие скоростные контейнерные составы заставляют остальные поезда отгонять на запасные пути, чтобы дать дорогу экспрессам. Это очень нарушает график движения основной части составов, создаются заторы на станциях, еще больше ухудшая ситуацию на Транссибе [1].

По причине резкого падения российского рубля и падения цен на нефть на проекты по модернизации транзитных магистралей деньги выделяются очень тяжело. А ведь по подсчетам экспертов, наличие сухопутного 10-дневного транзитного пути из Китая в Европу с объемом 100 млн тонн в год может стать если не полной альтернативой нефтедолларам, то очень серьезной подпиткой бюджета страны. Сегодня можно смело заявить,

что реконструкция Транссиба абсолютно необходима российской экономике.

Транзитные контейнерные перевозки по Транссибу в сообщении с Китаем за 9 месяцев 2015 г. выросли на 89% и составили 66 тыс. TEU. По итогам 2014 г. объем транзитных грузов по Транссибу в сообщении с Китаем вырос на 98% до 55 тыс. TEU. В целом транзитные перевозки контейнерных грузов по Транссибу в 2014 г. выросли до 131 тыс. TEU, что в 7 раз больше, чем в 2009 г. Так, с 2014 г. на 42% снижены ставки на перевозку грузов в 40-футовых контейнерах в составе контейнерных поездов в Китай и обратном направлении через погранпереход Брест. Эти условия сохранены и на 2015 г.

На маршруте Китай — Европа — Китай на 2015 г. установлены специальные тарифные ставки для транзитных перевозок 20-футовых контейнеров в составе контейнерных поездов. Так, ставка на перевозку груженого 20-футового контейнера в/из Китая на участке Красное — Канисай составила 288 швейцарских франков вместо 576.

«Предоставление значительной скидки (коэффициент 0,7) к тарифу на одиночные отправки контейнерных грузов в сторону пограничного перехода Гродеково — Суйфэньхэ дало старт транзитным контейнерным перевозкам из северных провинций Китая через порт Восточный на юг Китая и в Японию», — цитирует О. Белозерова пресс-служба ОАО «РЖД».

Помимо действующих регулярных контейнерных сервисов в сообщении Китай — Европа — Китай (Чэнду — Лодзь, Сучжоу — Варшава, Чунцин — Дуйсбург, Чжэнчжоу — Гамбург, Ухань — Пардубице) организован новый контейнерный сервис в сообщении Китай — Испания (Иу — Мадрид). С сентября 2015 г. Объединенной транспортно-логистической компанией организованы отправки контейнерных поездов из китайского порта Инкоу в Москву. В рамках проекта «Транссиб за 7 суток» разработан новый транспортный продукт «Байкал Шаттл» для транспортировки японских и корейских грузов из порта Иокогама в Москву [2].

Для сегодняшней транспортной России данный грузопоток, ежегодный объем которого превышает 20 тыс. TEU, является в какой-то мере инновационным и пилотным вариантом организации непрерывного транспортного процесса, требующего комплексного обеспечения всех компонентов транспортной цепи — скорости, ритмичности, себестоимости, сохранности, надежности и гарантии того, что все это работает. Сегодня транспортная группа FESCO является фактически единственной отечественной компанией, способной обеспечить задачи такого масштаба, целиком контролируя всю транспортную цепь полного цикла с привлечением собственных транспортных активов.

Морская часть цепочки формируется контейнерными линиями FESCO, работающими по фиксирован-

ному расписанию, которые связывают порты России (Восточный, Владивосток и Находку) с портами Кореи, Китая, Японии, Вьетнама, США. В настоящее время на тихоокеанских линиях ДВМП занято 14 судов совокупной контейнероёмкостью 9,5 тыс. TEU. Кроме того, FESCO управляет парком контейнеров порядка 40 тыс. TEU различных типоразмеров и полностью обеспечивает перевозки грузов собственными контейнерами. Функции контроля за перемещением контейнеров возложены на локальные офисы FESCO, расположенные во всех портах обслуживания линий и на протяжении всей сети «РЖД».

Автокомплектующие поступают с заводов Кореи и Китая, и начало транспортной цепи предусматривает обеспечение заводов контейнерным оборудованием требуемого типоразмера в соответствии с графиками отправок. Для максимального использования полезной вместимости контейнеров авточасти скомплектованы и упакованы таким образом, что каждый 40-футовый контейнер вмещает 4 машинокомплекта. Соответственно, для перевозок по этому контракту используется именно парк 40-футовых контейнеров.

Железнодорожная часть транспортной цепи работает на участке Транссиба между портом Восточный и станциями назначения (подъездными путями сборочных заводов) в Таганроге (завод ТаГАЗ) и Ижевске (завод «ИжАвто»). Транспортировка на этой части пути обеспечивается железнодорожными компаниями в составе группы FESCO («Русская Тройка», «Инкотек-Транс-Сервис», «Трансгарант» и «Дальрефтранс») в стратегическом сотрудничестве с «ТрансКонтейнером». Транспортная группа FESCO была создана на базе Дальневосточного морского пароходства. Предприятия группы осуществляют международные морские и железнодорожные контейнерные перевозки, перевалку грузов на собственных терминалах, обеспечивают ледокольную проводку судов. Если в 2005 г. регулярность железнодорожных перевозок составляла 4 дня, то в 2006 г. этот показатель сократился до 2,5 дней, а за первые 4 месяца 2007 г. полный состав груза отправляется через день.

Железнодорожные операторы в составе компании группы имеют собственный подвижной парк фитинговых платформ в количестве 1500 единиц, в том числе 700 единиц длиннобазных 80-футовых платформ, способных перевозить по два 40-футовых контейнера. Весь груз авточастей транспортируется в 40-футовых контейнерах, и 80-футовые платформы являются наиболее эффективными с точки зрения полного использования их провозной способности. Поезда стоят на закольцованных маршрутах — согласованных нитках с «РЖД», что еще больше увеличивает скорость транспортной цепи и оборачиваемость подвижного состава и контейнерного оборудования.

Вместе с тем существуют и недостатки российских портов и морских контейнерных терминалов, которые



на сегодня являются самым проблемным участком транспортной цепи, замедляющим и удорожающим перевозку. Для сравнения можно привести порты Южной Кореи. Корейские морские терминалы обеспечивают загрузку судна вместимостью 1000 TEU за 5–6 часов, а выгрузка этой же контейнерной партии в порту Восточный занимает 1,5–2 дня. Кроме того, в южнокорейских портах иммиграционные формальности и таможенное оформление грузов совмещается с грузовыми операциями и практически не влияет на стояночное время судна.

Также существует проблема недостаточной оснащённости железнодорожных станций перегрузочным оборудованием, способным обрабатывать крупнотоннажные контейнеры международного стандарта. Системное решение проблемы технического перевооружения железнодорожного станционного хозяйства благоприятно отразится на повышении эффективности транспортного процесса в целом по стране, а также поможет российским товарам успешно конкурировать на международных рынках.

Важнейший показатель эффективности транспортной цепи — это транзитное время. Особенно важен этот показатель для конвейерных автомобильных производств. При нормативных и достаточно быстрых скоростях прохождения груза по морскому и железнодо-

рожному маршрутам самым нестабильным и проблемным является портовый участок.

В абсолютных единицах картина выглядит так: время прохождения маршрута Пусан — Таганрог за 2 года работы составило в среднем 27,8 суток, в том числе в море контейнер проводит 4 суток, на железной дороге — 12 суток и в порту Восточном — 12 суток. Наилучшее транзитное время океанских перевозчиков при следовании через Суэцкий канал с перевалкой в порту Констанца составляет 35 суток. Разница в 7 суток в сроках доставки явилась ключевым фактором решения автозаводов Hyundai и ТаГАЗ переключить свои транспортные объёмы на Транссибирский маршрут.

Говоря о дальнейших путях улучшения данной транспортной цепи, следует отметить следующие перспективные направления работы: сокращение нахождения груза в порту, снижение себестоимости инфраструктурной составляющей железнодорожного тарифа. Кроме того, необходимо увеличивать парк 80-футовых фитинговых платформ и повышать частоту отправок поездов в формате ускоренных контейнерных поездов, а также увеличивать флот на линии Южная Корея — Восточный — Владивосток, увеличивать частоту судозаходов, осуществлять прямые заходы в порты Кореи, прилегающие к заводам-автопроизводителям [4, 5]. **ИТ**

### Список литературы

1. Проблемы Транссиба [Электронный ресурс]. — URL: <http://mltrans.ru/news/problemy-transsiba> (дата обращения: 11.04.2016).
2. Рост транзитных контейнерных перевозок по Транссибу [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.sdelanounas.ru/blogs/70338> (дата обращения: 11.04.2016).
3. Транссиб — это фантастика? [Электронный ресурс]. — URL: <http://abclogist.ru/company/46-2012-05-31-09-48-18/75-2012-08-01-07-39-52> (дата обращения: 11.04.2016).
4. Контейнерная логистика и Транссиб [Электронный ресурс]. — URL: <http://global-katalog.ru/item20830.html> (дата обращения: 11.04.2016).
5. Покровская О. Д. Формирование терминальной сети региона для организации перевозок грузов. — М.: Транслит, 2012. — 192 с. — ISBN 978-5-94976-452.
6. Покровская О. Д., Самуйлов В. М. Организационно-технические решения при проектировании грузовых терминалов в составе международных транспортных коридоров // Инновационный транспорт. — 2015. — № 4 (18). — С. 13–24. — ISSN 2311–164X.



**Тимур Талгатович  
Шаюхов**  
Timur T. Shayuhov

# Расчет удельных норм и прогнозирование электропотребления на промышленных предприятиях

## Calculation of the specific norms and forecasting of energy consumption in industrial plants

### Аннотация

В современных условиях постоянного роста цен на энергоресурсы для промышленных предприятий актуальным является вопрос повышения собственной энергетической эффективности. Выделяют три составляющие экономии электрической энергии (ЭЭ): прямая экономия ЭЭ, получаемая в результате рационализации ее расхода; технические и организационные мероприятия, требующие незначительных расходов, окупаемые в течение 2–5 лет; глобальная технологическая перестройка энергохозяйства, требующая значительных вложений капитала. Постоянный рост потребления электроэнергии вынуждает снабжающие организации устанавливать лимиты, нормы, регулировать энергопотребление в различные часы суток тарифами. Предприятия-потребители в свою очередь, чтобы минимизировать расходы на энергетику, стремятся планировать потребление электрической и тепловой энергии, рассчитывать и устанавливать нормы, заниматься прогнозированием электропотребления. Такой подход дает возможность реализовать стратегию, направленную на энергосбережение и эффективное использование энергии.

**Ключевые слова:** электрификация, удельные нормы, нормирование, электропотребление, учет электроэнергии, прогнозирование, система электроснабжения.

### Abstract

In modern conditions of constant rising energy prices for industrial enterprises is urgent issue of increasing its energy efficiency. There are three components of the economy of electric energy (EE): EE direct savings obtained as a result of the rationalization of its consumption; technical and organizational measures requiring minor expenses paid back within 2-5 years; global technology restructuring of energy facilities requires significant capital investment.

Continued growth in energy consumption is forcing supplying organizations to set limits, rules, to regulate the power consumption at different times of day tariffs. Companies-consumers, in their turn, to minimize energy costs tend to plan the consumption of electricity and heat, count and set standards, engage in forecasting energy consumption. This approach makes it possible to implement a strategy aimed at energy conservation and efficient energy use.

**Keywords:** electrification, specific standards, standardization, electricity consumption, electricity accounting, forecasting, power supply system.

DOI:10.20291/2311-164X-2016-3-8-12

### Авторы Authors

*Тимур Талгатович Шаюхов, аспирант, ассистент кафедры «Электроснабжение транспорта» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: shayuhov@mail.ru*

*Timur Talgatovich Shayuhov, a graduate student, assistant of the department "Electrical Transport" Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: shayuhov@mail.ru*

В 1930–1950 гг. ограничения в потреблении электроэнергии, как правило, касались социально-бытовых сфер, в настоящее время ситуация изменилась, и ограничения накладываются на промышленные предприятия. Значительное энергопотребление промышленных предприятий Российской Федерации связано с существенно большей энергоемкостью выпускаемой продукции и высокой долей стоимости энергоресурсов в себестоимости. Проблемы электроснабжения в области схемных и режимных вопросов вынуждают решать актуальную задачу по планированию, контролю, прогнозированию и управлению удельными расходами электроэнергии.

Глобальная электрификация нашей страны началась с принятия плана ГОЭЛРО в 1920 г. и решения об индустриализации в 1926 г. В условиях того времени формировались принципы потребительского электроснабжения: электроэнергия должна потребляться строго в рамках заданных норм.

Первым документом, который определил процедуру расчета удельных норм, стали «Инструктивные указания по методике установления и порядку утверждения удельных норм расхода электрической энергии в промышленности», выпущенные Госэнергонадзором в 1945 г. Однако следует отметить, что на некоторых промышленных предприятиях еще в 1944 г. проводились исследования статистического метода нормирования. В 1951 г. изданы «Правила пользования электрической и тепловой энергией». С принятием этих документов начала формироваться и совершенствоваться база в области регулирования потребления электрической энергии.

Возникла необходимость определения  $P_p$  расчетной мощности для нескольких электроприемников (далее ЭП), которые питаются от одного источника [1]. На этом фоне появляются методики расчета электрических нагрузок и нормирования, которые опирались на одиночные электроприемники (электродвигатели, станки, насосное оборудование и т. п.). Для описания режимов работы таких электроприемников были введены коэффициенты загрузки  $K_z$ , использования  $K_{и}$ , одновременности  $K_o$ , максимума  $K_m$ , спроса  $K_c$  и др. В то же время получил распространение статистический подход, и в работе В. И. Вейца [2] было показано, что энергетическая характеристика в общем виде может быть выражена уравнением:

$$\mathcal{E} = a^m + b^n \times \Pi, \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}$  — расход электрической энергии за определенный отрезок времени, который зависит от вида цеха, пролета и т. д.;  $a$  — постоянная часть расхода электрической энергии, не зависящая от нагрузки;  $b$  — переменная часть на единицу продукции, зависящая от нагрузки;  $\Pi$  — размер продукции за определенный промежуток времени;  $m$  и  $n$  — степенные показатели.

Показатели  $m$  и  $n$  описываются следующими функциями  $m = f(\Pi)$  и  $n = \Psi(\Pi)$ . Это обуславливалось потребностью разделения расхода ЭЭ на освещение, вентиляцию, вспомогательные нужды и др. В настоящее время эти расходы называют постоянной и переменной составляющими норм.

В 1966 г. утвердили директиву «Основные положения по нормированию расхода топлива, электрической и тепловой энергии в производстве». В соответствии с ней была принята следующая структура удельных норм расхода электроэнергии: а) технологические; б) цеховые нормы; в) общезаводские.

**Технологические удельные нормы** предполагают расход энергоресурсов на выполнение отдельных процессов в соответствии с технологией, например: электронагрев, электролиз, привод рабочих машин, электросварка и т. п. В технологические нормы закладываются расходы энергии на основные физико-химические процессы и потери, которые зависят от характера оборудования и его технологического процесса (тепловые потери в электропечах, электрохимические потери при электролизе, механические потери на трение в машинах, электрические потери в токоприемниках и т. п.).

**Цеховые удельные нормы.** В эти нормы заложены все расходы на топливо и энергию в границах цеха: освещение, отопление, вентиляция, потери в сетях, затраты на основные и вспомогательные процессы.

**Общезаводские удельные нормы** включают в себя все расходы топлива и энергии на производственные нужды завода, в том числе вспомогательные и подсобные нужды, связанные с выпуском продукции, а также потери электроэнергии во внутривзаводских сетях. Такую норму применяют при укрупненных расчетах при планировании энергоресурсов по предприятию. К подсобным и вспомогательным нуждам предприятия относятся расходы электроэнергии на внутреннее и наружное освещение, вентиляцию, отопление, внутривзаводской транспорт, компрессорные и насосные установки, ремонтные мастерские, производство подсобных материалов и инструмента и т. п.

Удельная норма расхода электроэнергии будет в наибольшей степени отражать энергоемкость производства и соответствовать производственно-материальному учету, если ее рассчитывать на единицу готовой продукции.

В настоящее время чаще всего применяются следующие показатели для установления удельных норм: норма-часы, человеко-часы, станко-часы, тысяча рублей валовой продукции. Перечисленные показатели являются неудовлетворительными, так как они не в полной мере отражают энергопотребление процессов и объем производства.

Нормирование будет рациональным, если будет основываться на проверенных экспериментальным путем энергетических характеристиках оборудования и на специальных энергобалансах.

Технологическая удельная норма на отдельный процесс (операцию) — это первичная элементарная норма, которую можно обосновать технически. Технологическая удельная норма включает в себя полезный расход энергии и потери [3].

Одним из примеров безответственного заполнения отчетных документов является «Форма № 24 — энергетика», которую предоставляли предприятия в Федеральную службу государственной статистики вплоть до 2007 г. (табл. 1). С указанного срока введена новая форма отчетности.

Таблица 1

### Выдержка из «Формы № 24 — энергетика»

Показатели	№ строки	Количество
1	2	3
<b>А. Приход</b>	01	
Выработано электроэнергии		
Получено со стороны (указать, от кого и сколько), в т. ч. с оптового рынка электроэнергии	02	
Итого приход (стр. 01+02)	03	
<b>Б. Расход</b>	04	
Потреблено — всего (стр. 05 + 06 + 07 + 08 + 09)		
в том числе:	05	
электроаппаратами для технологических процессов (сушка, нагрев, электросварка, электроплавка, электролиз и т. д.)		
электродвигателями на двигательную силу	06	
на освещение производственных и административных помещений, на работу вычислительной и оргтехники	07	
израсходовано на собственные нужды электростанции	08	
потери в заводских сетях, трансформаторных подстанциях и преобразователях	09	

В разделе 1 «Электробаланс» части Б «Расход» форма содержит следующие показатели:

04 — расход: потреблено всего (сумма строк 05 + 06 + 07 + 08 + 09) в том числе:

05 — электроаппаратами для технологических процессов (сушка, нагрев, электросварка, электроплавка, электролиз и т. д.);

06 — электродвигателями на двигательную силу;

07 — на освещение производственных помещений;

08 — израсходовано на собственные нужды электростанций;

09 — потери в заводских сетях, трансформаторных подстанциях и преобразователях.

Ни один из указанных пунктов, за исключением 04, невозможно проверить, т. е. нет прибора учета, который бы подтверждал данные, приведенные в п. 06, 07 и пр. Это свидетельствует о том, что в форму вносятся искаженные величины.

Если вводы энергоемких объектов предприятия оборудованы приборами учета, то возможно получить достоверные коммерческие величины по нагрузке предприятия в целом и по отдельным составляющим: водотлив, вентиляция, энергоемкие электротехнические комплексы. При наличии системы АСКУЭ на предприятии имеется возможность получать графики нагрузки потребителей. При наличии подобных графиков можно отказаться от разбиения расходов на технологию, свет, вентиляцию и др. Тогда контролируемые приборами учета вводы выстраиваются по уровням системы электропитания вплоть до второго уровня (щитов РП-0,4 кВ).

Изложенное позволяет сделать вывод, что следует отказаться от оперирования сведениями, которые нельзя проверить инструментально. Возможность инструментального учета позволяет перейти к предельно необходимому уровню нормирования во времени: сменные (суточные) нормы с почасовым контролем расхода электроэнергии в течение суток. Информация, поступающая с приборов учета на АРМ диспетчера, позволяет управлять электропотреблением. Необходимо лишь наладить взаимодействие службы главного энергетика и главного технолога для внесения возможных изменений в технологические процессы, определить ремонтные паузы, перечни механизмов, отключаемых и выключаемых без предупреждения.

По мнению Б. И. Кудрина, не разделяя потребление по строчкам, технологическим операциям [5], технологически зависимым требованиям к предыдущим процессам [6], следует перейти к сравнительной и временной оценке поведения каждого производства, цеха, отделения, участка, дающего возможность менеджеру принять решение о тенденции энергосбережения выделяемой административно (технически) единицы.

Не менее важным для промышленных предприятий является вопрос построения прогнозов электропотребления. В настоящее время на многих предприятиях прогнозы потребления электрической энергии строятся «исходя из опыта прошлых лет», с некоторым запасом. Это говорит о том, что необходимо вносить коррективы в сложившиеся принципы работы служб главного энергетика, применять уже проверенные и хорошо

зарекомендовавшие себя математические методы построения прогнозов.

Прогнозирование является одним из востребованных направлений обработки информации у специалистов, занимающихся анализом данных [7]. Современные методы позволяют производить прогнозирование различных показателей с высокой точностью.

Различают различные виды прогнозирования по времени:

- краткосрочное;
- среднесрочное;
- долгосрочное.

**Краткосрочный прогноз** представляет прогноз на несколько шагов вперед. Для него применимы практически все методы: экспоненциальное сглаживание, метод авторегрессии и проинтегрированного скользящего среднего (АРПСС), нейронные сети.

**Среднесрочный прогноз** — это прогноз на половину цикла или полный цикл. Для него применяют АРПСС и экспоненциальное сглаживание. С помощью этих методов возможно отслеживание качества прогноза в зависимости от срока прогноза.

**Долгосрочный прогноз** требует комплексного подхода, так как применение стандартных методов прогнозирования неэффективно. При таком прогнозировании используются нейронные сети или регрессионные модели.

Необходимо понимать, что универсальных методов прогнозирования не существует. Кроме того, выбор метода и эффективность его применения зависят от многих условий, например, от длины или времени прогнозирования, времени суток, погодных условий и т. п. Некоторые условия могут быть не отражены в накопленных данных. Следует учитывать особенности каждого конкретного предприятия, возможные изменения объемов производства, что повлечет за собой изменение объемов электропотребления [8].

В зависимости от целей и сроков прогноза применяются различные модели прогноза:

- имитационные (фундаментальные), содержат сложные расчеты влияния внешних факторов;
- модели временных рядов.

Модели временных рядов в свою очередь делятся на статистические и структурные. С помощью математического аппарата эти модели представляют будущие значения временного ряда, используя накопленные статистические данные.

Статистические модели временных рядов:

- регрессионные модели;
- авторегрессионные модели (ARIMAX/АРПСС);
- модели экспоненциального сглаживания.

Структурные модели временных рядов:

- на нейронных сетях;
- на цепях Маркова;
- на базе классификационно-регрессивных деревьев [9].

В настоящее время наибольшее применение получили следующие модели прогнозирования:

1. Модели на базе нейронных сетей [10].
2. Модели из семейств ARIMAX [11].
3. Модели на базе цепей Маркова. Анализируют только ближайшую к настоящему моменту часть временного ряда, считая, что его будущее зависит в большей степени от настоящего, а не от прошлого.
4. Модели на базе классификационно-регрессионных деревьев. Согласно этим моделям, будущее состояние временного ряда зависит от прошлого, а также от некоторых независимых переменных (CART).
5. GARCH-модели.

6. Модель по выборке максимального подобию (MMSP), находящая в ретроспективных данных участки, максимально похожие на участки данных текущего времени, и на их основе производящая расчет будущих значений временного ряда.

7. Модели экспоненциального сглаживания, рассчитывающие экспоненциальные средние, применяя один из самых простых приемов выравнивания ряда.

8. Фундаментальные модели, применяемые для целей долгосрочного прогноза.

В последнее время активно применяются модели, которые сочетают в себе математический аппарат нескольких вышеуказанных моделей.

Помимо перечисленных моделей для целей прогнозирования применяются модели временных рядов на основе генетического алгоритма, на опорных векторах, на основе передаточных функций, на нечеткой логике и модели группового учета аргументов. Однако они используются в специфических случаях и значительно реже, чем перечисленные выше модели.

Анализируя работы ученых в области построения прогнозов электропотребления, можно отметить, что для решения задачи прогноза будущего состояния временных рядов высокой точностью прогноза, относительной простотой, возможностью моделирования влияния внешних факторов зарекомендовали себя модели временных рядов на нейронных сетях, модель экспоненциального сглаживания, регрессионные и авторегрессионные модели.

Рассмотренные аспекты исследуемой темы позволяют сформулировать следующие выводы:

1. При расчете удельных норм следует опираться только на величины, проверяемые инструментально.
2. Проведение расчетов по паспортным данным для энергоемких технологических агрегатов необходимо только для выявления отличий их работы от нормального режима, для совершенствования технологического процесса, оценки результатов энергосбережения и внесения изменений в технологические, энергетические, механические и другие нормы.
3. На схему электроснабжения предприятия следует накладывать схему установки приборов учета электроэнергии. Это позволит определить необходимые

расчетные коэффициенты для различных уровней системы электроснабжения, выявить потери, определить загруженность оборудования и электрических сетей.

4. В настоящее время существует значительное количество статистических методов прогнозирования. Чтобы подобрать оптимальный метод для построения прогнозной модели потребления электроэнергии предприятием, должны быть четко сформулированы исходные требования, цели прогноза, задан интервал прогнозирования, точность прогноза, быстродействие и гибкость прогнозной модели.

5. Оптимальная модель прогнозирования должна учитывать максимальное количество влияющих факторов. Чтобы повысить точность прогноза, следует анализировать значение каждого из факторов на изменение величины электропотребления в изменяющихся условиях существования предприятия.

6. Анализ существующих методов прогнозирования показал, что нет идеально подходящего метода, который бы учитывал все особенности конкретного пред-

приятия, все внутренние и внешние факторы, влияющие на потребление электрической энергии.

7. Особенно сложной является задача поиска подхода прогнозирования для многономенклатурных производств. Необходимо разработать новый подход для решения этой задачи.

Исследованием вопросов расчета удельных норм и прогнозирования электропотребления занимаются в научно-исследовательской лаборатории САПР КС УрГУПС. Планируется решить актуальную научно-техническую задачу по разработке методики расчета удельного расхода энергоресурсов, которая была бы точнее существующих методик, а также учитывала жизненный цикл электротехнических систем предприятия. Кроме этого, необходимо разработать модель управления энергохозяйством предприятия, включающую в себя автоматизированную систему контроля и учета энергоресурсов, систему по определению удельного расхода энергоресурсов и систему, способную строить прогноз потребления электрической энергии. **ИТ**

## Список литературы

1. Кудрин Б. И. Электроснабжение, оперативное и планируемое нормирование расхода электроэнергии, энергосбережение // *Электрика*. — 2007. — № 4. — С. 3–6.
2. Вейц В. И. Интенсификация производственных процессов и улучшение организации производства как основные факторы экономии энергии // *Промышленная энергетика*. — 1944. — № 2–3. — С. 1–4.
3. Инструктивные указания по методике установления и порядку утверждения удельных расходов электроэнергии в промышленности / *Промышленная энергетика*. — 1945. — № 10, 11. — С. 12–13.
4. Нифонтов И. Н., Лагуткин О. Е., Ошурков М. Г. Ранговые оценки электропотребления промышленных предприятий // *Электрика*. — 2003. — № 12. — С. 18–22.
5. Пресс С. А. О нормировании расхода электроэнергии для металлорежущих станков // *Промышленная энергетика*. — 1945. — № 3. — С. 7–9.
6. Никифоров Г. В., Олейников В. К., Шеметов А. Н. Об оптимальных режимах электропотребления в условиях металлургического производства // *Электрика*. — 2002. — № 3. — С. 9–13.
7. Ковалев А. А. Комплексное внедрение инноваций на железнодорожном транспорте России // А. А. Ковалев, Ф. С. Несмелов, А. В. Микава, А. А. Кардаполов, Н. А. Исаков // *Транспортное дело России*. — 2013. — № 4. — С. 24–26.
8. Ковалев А. А. Определение правильности срабатывания дистанционной защиты // А. А. Ковалев, М. А. Выборский // *Инновационный транспорт*. — 2015. — № 2 (16). — С. 31–35. — ISSN 2311–164X
9. Чучуева И. А. Модель прогнозирования временных рядов по выборке максимального подобию : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2012. — 155 с.
10. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс : пер. с англ. — 2-е изд. — М. : Издательский дом «Вильямс», 2006. — 1104 с.
11. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ : пер. с англ. В 2 кн. Кн. 1. — М. : Финансы и статистика, 1986. — 366 с.



**Маруфджан  
Халикович  
Расулов**  
Marufdzhan H.  
Rasulov



**Абдумалик  
Набиевич  
Ризаев**  
Abdumalik N.  
Rizaev



**Абдулазиз  
Абдуллаевич  
Гуламов**  
Abdulaziz A.  
Gulamov

## К вопросу управления кадрами в инновационной среде железнодорожного транспорта акционерного общества «Узбекистон темир йўллари»

### On the issue of personnel management in the innovation environment of railway transport of the Joint Stock Company “Uzbekiston Temir Yullari”

#### Аннотация

В статье рассматриваются особенности инновационной деятельности железнодорожного транспорта Республики Узбекистан через призму целенаправленной научно-технической политики, где основная роль отведена внедрению новых технологий, технических средств, совершенствованию системы подготовки научно-педагогических кадров, финансовой, экономической деятельности, обеспечению безопасности движения, а также социальной защищенности.

**Ключевые слова:** человеческие ресурсы, инновации, железнодорожный транспорт, научно-техническая политика.

#### Abstract

The article discusses the features of innovative activity of railway transport of the Republic of Uzbekistan in the light of targeted scientific and technical policy, where the main role is played by the introduction of new technologies, technical resources, financial improvement, economic activity, ensuring traffic safety, as well as social security.

**Keywords:** human resources, innovation, railway transport, science and technology policy.

DOI:10.20291/2311-164X-2016-3-13-16

#### Авторы Authors

**Маруфджан Халикович Расулов**, канд. техн. наук, доцент, ректор Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта (ТашИИТ), Ташкент, Республика Узбекистан; e-mail: rektorat@tashiit.uz | **Абдумалик Набиевич Ризаев**, д-р техн. наук, профессор кафедры «Инженерные коммуникации и системы» Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта (ТашИИТ), Ташкент, Республика Узбекистан; e-mail: rektorat@tashiit.uz | **Абдулазиз Абдуллаевич Гуламов**, канд. экон. наук, проректор Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта (ТашИИТ), Ташкент, Республика Узбекистан; e-mail: rektorat@tashiit.uz

**Marufdzhan Halikovich Rasulov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, rector of the Tashkent Institute of Railway Transport Engineers (TashRTE), Tashkent, Uzbekistan; e-mail: rektorat@tashiit.uz | **Abdumalik Nabievich Rizaev**, Dr. Sc., professor of “Engineering Communications and Systems” department of the Tashkent Institute of Railway Transport Engineers (TashRTE), Tashkent, Uzbekistan; e-mail: rektorat@tashiit.uz | **Abdulaziz Abdullaevich Gulamov**, Candidate of Economic Sciences, Vice Rector of the Tashkent Institute of Railway Transport Engineers (TashRTE), Tashkent, Uzbekistan; e-mail: rektorat@tashiit.uz

### I. Введение

Эффективность деятельности, как в организациях в целом, так и в АО «Узбекистон темир йуллари» (АО «УТЙ») в частности, во многом зависит от того, насколько она приспособлена к изменениям внутренней и внешней среды, в какой мере она гибка и как она восприимчива к инновационным процессам. Любая среда или система определяется степенью устойчивости, которая измеряется во времени. Как отмечает ведущий французский исследователь по социологии организаций М. Крозье, «в современной конкурентной борьбе в первую очередь борьба идет не за обладание ресурсами, материальными ценностями, а за способность к нововведениям» [1]. Поскольку инновация — это, прежде всего, стратегическая деятельность, направленная на поиск и реализацию новой техники и технологий, актуальность приоритета кадровой политики не вызывает особого сомнения. Основа системы стратегического управления — четкое разделение функций тактического и стратегического управления. Стратегию и тактику нельзя смешивать ни при каких обстоятельствах. Плачевный итог всегда один — тактика победит стратегию [3].

### II. Приоритетные направления инновационной деятельности АО «Узбекистон темир йуллари»

Главная предпосылка инновационной деятельности состоит в том, что все существующее стареет. Решающим фактором эффективного внедрения инновации является персонал организации и его отношение к ней. Поэтому задача руководителей при внедрении инновации — сформировать психологическую готовность персонала, которая проявляется в осознании производственной и экономической необходимости осуществления нововведения, личной и коллективной значимости нововведения, а также способов личного включения в осуществление нововведения [2]. В связи с этим необходимо систематически отбрасывать все, что устарело, износилось, стало тормозом научно-технического прогресса.

В настоящее время АО «Узбекистон темир йуллари» ведет активную инновационную деятельность, приоритетными направлениями которой являются развитие и модернизация подвижного состава и инфраструктуры железнодорожной отрасли.

На сегодняшний день общая протяженность железных дорог Республики Узбекистан составляет 6020 км, в том числе 4230 км дорог общего пользования.

За годы независимости компанией было построено

но 110 км новых дорог, в том числе железнодорожные участки Навоий — Учкудук — Нукус — Султонуюздк и Ташгузар — Байсун — Кумкурган общей протяженностью 565 км. Реабилитированы более 3800 км, капитально реконструированы 1400 км и электрифицированы более 1000 км железных дорог республики.

Перечень вновь начинаемых инвестиционных проектов по модернизации, техническому и технологическому обновлению производств включает 4 крупных проекта на общую сумму 541,2 млн долларов США, в том числе проекты «Обновление состава пассажирских вагонов», «Восстановление локомотивов», «Строительство грузовых вагонов» и многое другое. Особое внимание со стороны АО «Узбекистон темир йуллари» уделяется электрификации железных дорог. На сегодняшний день завершён первый этап проектов «Электрификация железнодорожного участка Мароканд — Карши» и «Организация скоростного движения пассажирских поездов на участке железнодорожной линии Самарканд — Карши».

В соответствии с постановлением Президента Республики Узбекистан, реализуется I этап проекта по строительству железнодорожной линии Навоий — Конимех — Мискен протяженностью 396,9 км дорог на общую сумму 283,1 млн долларов США.

В целях обеспечения электрифицированных дорог качественным парком локомотивов планируется приобретение 24 единиц, в том числе 16 грузовых и 8 пассажирских локомотивов.

В соответствии с постановлением Президента Республики Узбекистан № ПП-2326 от 26 марта 2015 г., ведется реализация проекта «Электрификация железнодорожного участка Самарканд — Бухара с организацией высокоскоростного движения пассажирских поездов» протяженностью 291,5 км, в связи с чем заключен контракт на приобретение двух высокоскоростных пассажирских электропоездов повышенной комфортности.

14 апреля 2016 г. опубликовано распоряжение Президента Республики Узбекистан № Р-4636, в соответствии с которым в период 2016–2020 гг. будет реализован проект по электрификации железнодорожного участка Пап — Наманган — Андижан протяженностью 140 км, что позволит создать единый электрифицированный железнодорожный маршрут по территории Узбекистана. Реализация данного проекта обеспечит развитие как Ферганской долины, так и республики в целом, а также увеличит грузооборот на территории Республики Узбекистан.

Перечисленные проекты показывают, что в АО «Узбекистон темир йуллари» уделяется огромное внимание развитию единой сети железных дорог, повышению эффективности перевозок, сокращению эксплуатационных расходов, увеличению пропускной способности, сокращению эксплуатационных расходов, сни-



жению себестоимости грузовых перевозок, улучшению экологической обстановки, а также внедрению ресурсосберегающих технологий. Также есть глубокое понимание того, что все перечисленные мероприятия не могут быть реализованы без внедрения передовых и инновационных разработок.

### III. Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта как кузница кадров на железнодорожном транспорте

Руководством АО «УТИ» осуществляется целенаправленная кадровая политика. В отрасли создана уникальная система, обеспечивающая непрерывность и преемственность образовательных программ и включающая академические лица, средне-специальные профессиональные колледжи (Ташкентский, Самаркандский, Кокандский), высшее учебное заведение (ТашИИТ) и Дорожный центр повышения квалификации, подготовки и переподготовки кадров железнодорожного транспорта при институте, осуществляющий подготовку, переподготовку и повышение квалификации кадров массовых профессий, специалистов и руководителей среднего звена, а также педагогов и мастеров профессиональных колледжей железнодорожного транспорта.

Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта (ТашИИТ) — единственное в Узбекистане техническое учебное заведение по подготовке железнодорожных кадров, его история насчитывает более 80 лет. Институт является структурным подразделением АО «УТИ» и полностью финансируется железнодорожной компанией. Деятельность вуза основана на утвержденных Олий Мажлисом законах РУЗ «Об образовании» и Национальной программе по подготовке кадров, направленных на совершенствование системы непрерывного образования. Территория составляет 19,6 га. На территории вуза расположены: учебное здание, здание учебной лаборатории, спорткомплекс, два здания академического лица при ТашИИТе, комбинат общественного питания и четыре здания студенческих общежитий.

Институт осуществляет подготовку специалистов для железнодорожного транспорта по 22 направлениям образования бакалавриата и 12 специальностям магистратуры, контингент студентов составляет более 4000 человек. За период своей деятельности институт подготовил около 80 000 высококвалифицированных кадров, в том числе за годы независимости — более 15 000 бакалавров и около 1000 магистров. Выпускники инсти-

тута в основном работают в сфере железнодорожного транспорта и транспортного строительства республики. Профессорско-преподавательский состав насчитывает около 300 человек.

В структуру института входят четыре факультета (организации перевозок и транспортной логистики, электромеханический, строительный, экономический) и отдел магистратуры.

Выпускающими кафедрами института заключены договоры о сотрудничестве между подразделениями АО «УТИ», строительными и другими производственными организациями, в которых нашли отражение взаимные обязательства по улучшению качества подготовки специалистов, повышению эффективности научных исследований и оказанию практической помощи в решении производственно-экономических вопросов железнодорожной компании и института. В подразделениях и на предприятиях АО «УТИ» создано 19 филиалов кафедр. На филиалах кафедр проводятся лабораторные и практические занятия по дисциплинам железнодорожных специальностей, организуются выездные защиты выпускных работ бакалавров и магистерских диссертаций. Организуются все виды практик. К руководству филиалами кафедр и проведению занятий со студентами привлекаются высококвалифицированные специалисты с большим стажем работы на производстве. Чтобы поднять престиж профессии, создать здоровую конкуренцию среди студенчества, улучшить качество подготовки специалистов, АО «УТИ» с 2000 г. учредило и ежегодно приказом председателя правления компании присуждает отраслевую стипендию АО «УТИ» за отличную учебу и социальную активность по каждому образовательному направлению.

Ежегодно в соответствии с распоряжением руководителей АО «УТИ» в институте при участии представителей предприятий компании проводится распределение выпускников бакалавриата и магистратуры на работу.

Особое внимание по инициативе института уделяется системе подготовки научно-педагогических кадров. При всесторонней поддержке и полном финансировании АО «УТИ» осуществляется тесное сотрудничество в области подготовки педагогических кадров и научно-исследовательских работ с ведущими зарубежными вузами железнодорожного профиля. С 2007 г. по сегодняшний день в Московском и Петербургском университетах путей сообщения обучились и успешно защитили диссертации на контрактной основе за счет финансирования АО «УТИ» более 30 аспирантов, получили инженерное образование по узким железнодорожным специальностям 128 человек. Также имеется договор о сотрудничестве с Московским институтом стали и сплавов (МИСиС), ныне Национальным исследовательским технологическим университетом, на подготовку специалистов по литейному производству, Московским государственным университетом

им. Н.Э. Баумана. По договорам с МИИТ, ПГУПС, МИСиС продолжают обучение по железнодорожным специальностям более 50 студентов института. В результате целенаправленной кадровой политики АО «УТЙ» и ТашИИТ средний возраст преподавателей института за пять лет снизился с 53,5 до 48 лет, количество преподавателей моложе 40 лет составляет 35% от контингента ППС.

Научно-исследовательская и инновационная деятельность представлена тремя научно-исследовательскими лабораториями: «Материаловедение и сварка», «Автоматика, телемеханика и связь», «Путь и путевое хозяйство». Основными задачами данных лабораторий являются решение производственных задач, внедрение инновационных и научно-технических разработок, новой техники и технологии непосредственно на инфраструктурных предприятиях АО «УТЙ».

### IV. Заключение

На наш взгляд, управление кадрами должно основываться на комплексном подходе: от формирования кадровой политики до многоаспектных экономических, правовых, организационных условий, поскольку перспективы развития отрасли, связанные с повышением конкурентоспособности, рентабельности и стабильности, зависят от качества подготовки кадров. Интегрированная система ТашИИТ и АО «УТЙ» показывает неразрывность производства и научно-технической составляющей подготовки кадров. Она обеспечивает актуальность, своевременность и адекватность проводимых научно-исследовательских и опытно-конструкторских решений. Данный механизм дает возможность регулировать подготовку кадров через призму инновационного развития. **ИТ**

### Список литературы

1. Адизес И. Управление жизненным циклом корпорации / И. Адизес. — СПб. : Питер, 2010. — 384 с.
2. Пережогина К.А. Инновационные изменения в системе управления персоналом // Молодой ученый. — 2015. — №4. — С. 403–408.
3. Зениц Д. Техника бега. Развивайтесь, а не пишите стратегии // Компания. — 2005. — № 6/7. — С. 41.

УДК 332.143



**Венера Медетовна  
Гаянова**

Venera M. Gayanova



**Валерий Михайлович  
Самуйлов**

Valeriy M. Samuylov



**Владислав  
Николаевич Чуркин**

Vladislav N. Churkin



**Екатерина Николаевна  
Ялунина**

Ekaterina N. Yalunina

## Перспективы развития транспортно-логистического комплекса Екатеринбурга

### Development prospects of transport and logistics hub in Ekaterinburg

#### Аннотация

В статье проведена оценка г. Екатеринбурга с точки зрения его логистической привлекательности. Приведены некоторые показатели дорожно-транспортной инфраструктуры; проанализировано современное состояние, а также выявлены наиболее существенные проблемы. На основе данных сервиса «Яндекс. Пробки» осуществлен анализ загруженности городского дорожного пространства в зависимости от времени суток и дня недели. Затронута сущность и актуальность концепции формирования системы городских распределительных центров.

**Ключевые слова:** дорожно-транспортная инфраструктура, Екатеринбург, городской распределительный центр, транспорт.

#### Abstract

The paper evaluates the city of Ekaterinburg in terms of logistics attractiveness. Presents some indicators of road transport infrastructure; The current state and the most significant problems are identified. On the basis of the app "Yandex. Traffic jams" made an analysis of congestion of urban road space, depending on the time of day and day of the week. They elaborated on the nature and relevance of the concept of the formation of "urban distribution centers" of the system.

**Keywords:** road transport infrastructure, Ekaterinburg, "city distribution center," transport.

DOI:10.20291/2311-164X-2016-3-17-20

#### Авторы Authors

**Венера Медетовна Гаянова**, канд. экон. наук, доцент Уральского государственного экономического университета (УрГЭУ), Екатеринбург; e-mail: v.m.gayanova@gmail.com | **Валерий Михайлович Самуйлов**, д-р техн. наук, профессор кафедры «Мировая экономика и логистика» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Владислав Николаевич Чуркин**, Уральский государственный экономический университет (УрГЭУ), Екатеринбург; e-mail: ya@vladislavch.ru | **Екатерина Николаевна Ялунина**, д-р экон. наук, профессор Уральского государственного экономического университета (УрГЭУ), Екатеринбург; e-mail: yen@e-tagil.ru.

**Venera Medetovna Gayanova**, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Ural State Economic University (USUE), Ekaterinburg; e-mail: v.m.gayanova@gmail.com | **Valery Mikhailovitch Samuylov**, Dr. Sc., professor of the department "World Economics and Logistics", Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg | **Vladislav Nikolaevitch Churkin**, Ural State University of Economics (USUE), Ekaterinburg; e-mail: ya@vladislavch.ru | **Ekaterina Nikolaevna Yalunina**, Dr. Econ., Professor of the Ural State Economic University (USUE), Ekaterinburg; e-mail: yen@e-tagil.ru

Екатеринбург — перспективная площадка для развития транспортно-логистического комплекса. Это обусловлено следующими причинами:

- концентрацией промышленно-сырьевой базы и соответствующей необходимостью организации транспортировки продукции в другие регионы;
- выгодным географическим положением, обусловленным рельефом территории, через который было удобно прокладывать магистрали, а также положением связующего звена между европейской и азиатской частями России; отсюда — активная внешнеэкономическая деятельность;
- бурным развитием оптовой и розничной торговли — основных потребителей логистических услуг.

Субъектно-объектным составом логистики выступают органы власти, бизнес, потребители, объекты инфраструктуры (дорожной, складской и т. д.), образовательные учреждения и даже СМИ. Так, на законодательном уровне принимаются акты и программы, направленные на развитие транспортно-логистического комплекса. В Свердловской области принята и реализуется комплексная программа, введенная постановлением областного правительства «О концепции развития транспортно-логистической системы (ТЛС) Свердловской области на 2009–2015 годы (с перспективой до 2030 года)». Данная концепция определяет пути развития ТЛС, методы, конечные результаты и т. д. К другим, менее значимым проектам относятся программа «Екатеринбург — евроазиатский транспортно-логистический узел» [1], Приказ Министерства транспорта РФ «Об утверждении транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года» [2], постановление правительства Свердловской области «О Стратегии социально-экономического развития Свердловской области на период до 2020 года» [3] и другие. Данные проекты, а также активное участие бизнеса должны способствовать повышению конкурентоспособности области и, соответственно, города на внутреннем и международном рынках.

На сегодняшний день Екатеринбург — третий по величине транспортный узел России (после Москвы и Санкт-Петербурга) [4]. Здесь сходятся 6 федеральных автомагистралей и 7 магистральных железнодорожных линий. Город также имеет крупнейший за пределами двух столиц международный аэропорт [5]. Все это обуславливает развитие железнодорожных, автомобильных и авиаперевозок.

Крупнейшим грузоперевозчиком как в стране, так и в области является Свердловская железная дорога. Ее услугами пользуются свыше 12 000 коммерческих предприятий. Это связано с относительно низкими издержками, высокой грузоместимостью, невысокими рисками и возможностью отслеживания грузов. «Сердцем» СвЖД выступает Транссибирская магистраль, соединяющая Москву и Санкт-Петербург с крупными даль-

невосточными промышленными городами. Это обуславливает значимость Екатеринбурга как крупнейшего логистического центра. Для обслуживания товарных составов функционируют два крупных погрузочно-разгрузочных узла: станции Екатеринбург-Сортировочный и Екатеринбург-Товарный. Последняя в 2006 г. стала площадкой для строительства контейнерного терминала мощностью 40 000 контейнеров в год. Кроме того, обслуживанием грузоперевозок занимается созданный в 2003 г. Диспетчерский центр управления перевозками (ДЦУП) Свердловской железной дороги, обеспечивающий высокое качество логистических услуг. Еще одним техническим нововведением стала закупка локомотивов типа «Гранит», позволившая пропускать поезда весом 9 тыс. тонн на всем протяжении главного хода Транссиба, а также разгрузить екатеринбургский железнодорожный узел. Тем не менее, несмотря на все преимущества железнодорожных перевозок, их главными недостатками являются низкая скорость доставки товаров, а также бюрократизация процесса отправки и получения груза.

Многие коммерческие предприятия Екатеринбурга в своей повседневной деятельности активно используют автомобильный транспорт. Несмотря на значительное повышение цен на топливо, этот вид транспорта традиционно пользуется популярностью главным образом за счет скорости грузоперевозок на малые расстояния, а также за счет своей мобильности. Как уже было отмечено, через город проходят шесть важных федеральных и региональных трасс, соединяющих Екатеринбург с другими крупными региональными центрами: Челябинском (трасса М5), Пермью (трасса Р242), Тюменью (Р351) и т. д. Это создает широкие транзитные возможности для мегаполиса. Однако в связи с «малогабаритностью» города и его компактной застройкой, улицы, а особенно центр, где располагается порядка 30 % рабочих мест, не справляются с автомобильным потоком, что часто приводит к многочасовым заторам на дорогах, снижая скорость и повышая издержки доставки грузов. Простой пример: по состоянию на 2015 г., в уральской столице было зарегистрировано около 620 тыс. автомобилей (что примерно соответствует соотношению 1:2 — один автомобиль на двух жителей), при этом общая площадь дорожного полотна в Екатеринбурге составляет 14 396,1 тыс. м<sup>2</sup> [6]. Таким образом, получается, что при условии одновременной эксплуатации всех автомобилей в городе нагрузка составит 23 единицы на 1 м<sup>2</sup>. Поэтому все больше транспортных средств простаивает во дворах. Такое положение значительно усугубляет и экологические проблемы мегаполиса. Одним из решений этих проблем выступает строительство развязок. Так, в августе 2014 г. была открыта развязка на Московской — Обьездной, строительство которой длилось два года. В настоящее время разработан проект строительства двухуровневой развязки Амундсена — Обьездная. Кроме того, с 1994 г. ведется строительство ЕКАД — Екатерин-

бургской кольцевой автодороги, наподобие МКАД [6]. Опоясав город, она позволит значительно разгрузить центр от транзитного транспорта, что благотворно скажется и на качестве атмосферного воздуха. Однако специалисты отмечают в целом неудовлетворительные темпы строительства. Проблему загруженности центра решают и сами предприятия, размещая все больше складских помещений на окраинах города.

Важно отметить, что в дальнейшем способствовать этому процессу может внедрение европейского (прежде всего немецкого) опыта эффективной эксплуатации на протяжении последних 20–25 лет концепции так называемых «городских распределительных центров» (ГРЦ), размещаемых в периферийных частях города вблизи основных транспортных магистралей местности. Данный подход демонстрирует один из успешных примеров частно-государственного партнерства, катализатором в котором могут выступать как муниципальные власти (Германия, Нидерланды), так и общегосударственные органы (специальное подразделение Министерства транспорта во Франции) [7, с. 147].

В рамках концепции функции по доставке грузов в границах муниципалитета передаются одному или нескольким операторам, координирующим таким образом все локальные перевозки. Роль государства в партнерстве заключается в организации дотационного механизма при строительстве таких центров. Крупные федеральные грузоперевозчики, имеющие автомобильный транспорт массой свыше 3,5 т, под влиянием возможных запретительных мер будут вынуждены осуществлять перераспределение грузов в подобных ГРЦ в пользу более мобильных и маневренных транспортных средств, которые затем доставят заказы локальным потребителям. Несмотря на ряд проблем, среди которых отсутствие, как правило, подходящих земельных участков, комплексных инфраструктурных программ, а также бюрократизированная процедура получения всей необходимой документации для осуществления соответствующих девелоперских проектов, продолжительный европейский опыт доказал эффективность и рентабельность применения подобного подхода в целях разгрузки городских транспортных потоков, что, полагаем, будет неизбежно внедряться в ближайшем будущем во всех крупных российских городах, в том числе и в Екатеринбурге.

Важным направлением является также текущий ремонт и модернизация дорожной сети. К сожалению, в 2016 г. объем финансирования на эти цели существенно снизился [6]. Надеждой выступает проведение в Екатеринбурге этапа Чемпионата мира по футболу — 2018, предполагающее существенное обновление дорожной инфраструктуры. На это направлена как государственная программа «Развитие транспорта, дорожного хозяйства, связи и информационных технологий Свердловской области до 2020 года» (одна из целей которой дословно звучит следующим образом: «развитие совре-

менной и эффективной транспортной инфраструктуры, обеспечивающей ускорение товародвижения и снижение транспортных издержек в экономике»), так и муниципальная программа «Столица», в соответствии с которой в 2016 г. планируется обновить не менее 1 тыс. м<sup>2</sup> проезжих частей (в 2014 г. это значение соответствовало цифре 966 тыс. м<sup>2</sup>) [6].

Тем не менее в настоящее время город переносит тяжелое бремя повсеместных перекрытий улиц в связи с ремонтом, что усугубляет и без того тяжелую обстановку на дорогах. Иные же улицы вообще не находят внимания у представителей администрации, притом что качество покрытия на них не позволяет транспортным средствам перемещаться со скоростью более 20 км/ч (части улиц Ползунова, Замятина и даже пр. Космонавтов).

Другим негативно влияющим на дорожную ситуацию в городе фактором стала организация администрацией в центральной части Екатеринбурга два года назад сети платных парковок, содержащих в настоящий момент около 2354 машиномест, и 109 обслуживающих их паркоматов [8]. При этом никакой дополнительной инфраструктуры создано не было — платные парковочные места располагаются на местах, где ранее стоянка осуществлялась бесплатно. Это порождает оправданный протест среди общества: в лучшем случае автомобилисты, размещаясь на таких парковках, в целях предотвращения идентификации различными способами скрывают регистрационный номер транспортного средства, в худшем — размещают автомобили на близлежащей проезжей части, что способствует образованию заторов.

Ситуацию с трафиком в уральской столице за последнюю неделю июня 2016 г. (20.06.16–26.06.16) рассмотрим на рис. 1 (составлен по данным сервиса «Яндекс. Пробки»).

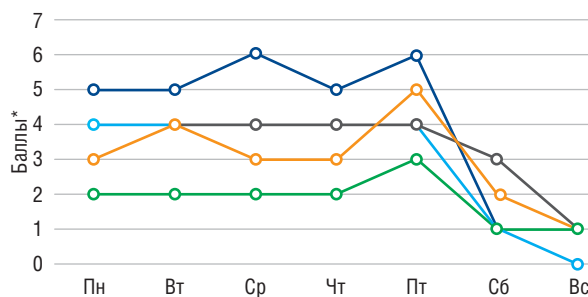


Рис. 1. Трафик в Екатеринбурге за период 20–26 июня 2016 г.\*

— 8:30; — 12:00; — 14:00;  
— 16:00; — 18:00; — 20:00;  
\*0 баллов — «полностью свободно» (30–80 км/ч);  
1 балл — «дороги свободны» (25–80 км/ч);  
2 балла — «дороги почти свободны» (25–80 км/ч);  
3 балла — «местами затруднения» (20–50 км/ч);  
4 балла — «местами затруднения» (15–45 км/ч);  
5 баллов — «движение плотное» (10–45 км/ч);  
6 баллов — «движение затрудненное» (7–35 км/ч)

\*Составлено автором по: [9].

Безусловно, столь короткий период наблюдения не позволяет делать однозначные выводы, тем более учитывая сезонность (в зимний период и в исключительных ситуациях движение может оцениваться и в 7–10 баллов (от «серьезные пробки» до «пешком быстрее» в терминологии сервиса)). Тем не менее, основываясь на представленных данных, мы можем судить об увеличении плотности движения со вторника по пятницу. Больше всего дороги загружены в период с 18 до 19 часов, что может быть связано с окончанием во многих фирмах рабочего дня. Если же посмотреть на карту пробок Екатеринбурга в различные периоды, то можно выявить наиболее загруженные улицы — это центральные пр. Ленина, ул. Малышева, ул. Куйбышева и т. д. Очевидно, что оптимизацию дорожно-транспортной инфраструктуры необходимо начинать именно с них.

Отметим, что одной из эффективных мер по борьбе с загруженностью городского пространства мог бы стать проект «Большой Екатеринбург», предполагающий объединение мегаполиса с мелкими городами-спутниками — Верхней Пышмой, Арамилем, Березовским и т. д. Если проект будет реализован, это приведет к существенной экономии на издержках транспортно-логистического характера.

Наконец, еще одним коммерческим видом транспорта выступает авиация. Екатеринбург может похвастаться суперсовременным аэропортом «Кольцово», признанным в 2015 г. британской исследовательской компанией Skytrax одним из лучших аэропортов России и СНГ (четыре звезды из пяти) [6]. Однако особый интерес вызывает грузовой комплекс (ГК) аэропорта, функционирующий с июля 2012 г. Он содержит порядка 17 000 м<sup>2</sup> площадей, а с 2018 по 2022 г. планируется ввод еще 22 000 м<sup>2</sup> сооружений. На сегодняшний день комплекс содержит здание для обработки почтовых перевозок, здание для обработки экспресс-грузов, 14 000 м<sup>2</sup> складских помещений, здание грузового терминала и т. д. Текущая пропускная способность терминала — 575 т/сутки. Аэропорт работает с такими международными грузоперевозчиками,

как AirBridgeCargo и MNG Cargo. Важным этапом в развитии транзитных возможностей «Кольцово» стало открытие в 2013 г. места международного почтового обмена (ММПО). В проекте также строительство автоматизированного сортировочного центра (АСЦ) «Почты России» [6].

Имиджевой составляющей образа уральской столицы как крупного транспортно-логистического центра является проведение специализированных образовательных-развлекательных мероприятий. Например, ежегодно в Екатеринбурге проходит конференция «Логистика Среднего Урала», где обсуждаются проблемы и перспективы развития логистической отрасли. Эта конференция привлекает специалистов из разных регионов страны. Кроме того, в прошлом году на базе УрГУПС состоялся полуфинал чемпионата World Skills Russia по компетенции «Логистика и управление цепями поставок», призванного выявить лучших специалистов в этой сфере.

В заключение отметим, что на сегодняшний день в Екатеринбурге сформировался крупнейший в стране транспортно-логистический центр, способный конкурировать даже со столичным регионом. Выгодное географическое расположение, а также, несмотря на существование некоторых проблем, развитая транспортно-складская инфраструктура делают уральскую столицу одним из привлекательнейших объектов для инвестиций. В городе действует свыше двухсот предприятий, предоставляющих услуги логистики. Некоторые из них имеют интернациональный масштаб деятельности (DHL, EMS Russian Post, Major Express и другие). Тем не менее следует помнить о наличии конкурентов. Козырь соседей — проект Южноуральского транспортно-логистического комплекса (Челябинская область), реализуемого на государственном уровне [6]. С другой стороны — Пермь, имеющая схожие географические условия и, кроме того, развитый речной порт. Однако несмотря на это мы полагаем, что прочный союз региональных властей и бизнес-сообщества сохранит первенство Екатеринбурга в организации транспортно-логистических процессов. **ИТ**

### Список литературы

1. Министерство экономики Свердловской области. — URL: <http://economy.midural.ru/> (дата обращения: 26.08.2016).
2. Об утверждении транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года [Электронный ресурс]: Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 12.05.2005 № 45. — URL: КонсультантПлюс, свободный.
3. О Стратегии социально-экономического развития Свердловской области на период до 2020 года [Текст]: Постановление Правительства Свердловской области от 27.08.2008 № 873-ПП // Собрание законодательства Свердловской области. — 2008. — № 8–1.
4. Екатеринбург ЭКСПО. — URL: <http://www.ekaterinburg-expo.ru/> (дата обращения: 24.08.2016).
5. Коммерсант.ru. — URL: <http://www.kommersant.ru/> (дата обращения: 26.08.2016).
6. Информационный портал Екатеринбурга. — URL: <http://www.ekburg.ru/> (дата обращения: 26.08.2016).
7. Тюрин А. Ю. Городские распределительные центры в концепции городской логистики / А. Ю. Тюрин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2014. — № 1. — С. 146–148.
8. Е 1. — URL: <http://www.e1.ru/> (дата обращения: 26.08.2016).
9. Яндекс. Пробки. — URL: <http://www.yandex-probki.ru/> (дата обращения: 26.06.2016).
10. Гаянова В. М. Интеграционные процессы в розничной торговле : дис. ... канд. экон. наук. — Екатеринбург, УрГУ. — 2009. — С. 204.
11. Карх Д. А., Савин Г. В., Гаянова В. М. Проблемы организации системы общественного транспорта в г. Екатеринбурге // Вестник Самарского государственного экономического университета. — 2014. — № 5. — С. 66–71.



**Ольга Юрьевна Смирнова**  
Olga Y. Smirnova



**Татьяна Юрьевна Полякова**  
Tatiana Y. Polyakova



**Екатерина Александровна Ухалова**  
Ekaterina A. Uhalova

## К вопросу о классификации маршрутов пригородного пассажирского сообщения

### On the classification of the suburban passenger routes

#### Аннотация

Структура пригородного пассажирского сообщения ввиду социально-экономических характеристик пассажиропотока и маршрута неоднородна. Существуют социально значимые маршруты (где поезд невозможно заменить автобусом) и коммерчески выгодные маршруты — ускоренные, в комфортабельных вагонах, аэроэкспрессы. В статье обосновывается необходимость сепарации маршрутов передвижения населения в пригородном сообщении и проанализированы подходы к решению этого вопроса.

**Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, организация перевозки пассажиров, пригородное сообщение, маршрут, классификация.

#### Abstract

The structure of the suburban passenger traffic due to the social and economic characteristics of passenger traffic and the route is not uniform. There are socially significant routes (where a train cannot be replaced by a bus) and commercially profitable routes - accelerated, comfortable cars, aeroexpress trains. The necessity to perform separation of routes of suburban public transportation and approaches to address this issue are analyzed.

**Key words:** railway transport, the organization of the transport of passengers, commuter, suburban, route classification.

DOI:10.20291/2311-164X-2016-3-21-24

#### Авторы Authors

*Ольга Юрьевна Смирнова, канд. техн. наук, доцент кафедры «Общенаучные дисциплины» филиала Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС) в г. Тюмени; e-mail: OYSmirnova@usurt.ru | Татьяна Юрьевна Полякова, старший преподаватель кафедры «Общенаучные дисциплины» филиала Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС) в г. Тюмени; e-mail: TYPolyakova@usurt.ru | Екатерина Александровна Ухалова, студентка 2 курса филиала Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС) в г. Тюмени; e-mail: katerina565@icloud.com*

*Olga Yurievna Smirnova, Candidate of Technical Sciences, associate professor of "General Scientific Subjects" department of the branch of the Ural State University of Railway Transport (USURT) in Tyumen; e-mail: OYSmirnova@usurt.ru | Tatiana Yurievna Polyakova, a senior lecturer of the "General Scientific Subjects" department of the branch of the Ural State University of Railway Transport (USURT) in Tyumen; e-mail: TYPolyakova@usurt.ru | Ekaterina Aleksandrovna Uhalova, 2nd year student of the branch of the Ural State University of Railway Transport (USURT) in Tyumen; e-mail: katerina565@icloud.com*

В общем объеме пассажирских железнодорожных перевозок пригородное сообщение выделяется не только по ряду технологических особенностей, но и ввиду особой социальной значимости. Пригородные пассажирские перевозки в основном концентрируются в крупных центрах, к ним относятся перевозки пассажиров в пределах выделенных пригородных участков, оплачиваемые по пригородному тарифу, на расстояние, не превышающее 200 км, включая таким образом и городские участки.

Пригородные пассажирские перевозки должны обеспечивать регулярный и своевременный подвоз пассажиров к месту работы, учебы и обратно и дополнительно в выходные дни и летний период — за город на отдых, что приводит к существенной неравномерности по часам суток (утром прибытие в 7–9 часов, вечернее отправление в 18–19 часов) и по дням недели. В данном случае неравномерность является неустранимой проблемой, которую необходимо учитывать. Так, сдвиг графика движения электропоезда на полчаса может привести к увеличению населенности вагонов (степень использования пассажироместимости). С другой стороны, на транспортную усталость пассажира влияет не только расстояние поездки, но и комфортность поездки и возможность быстрой пересадки.

Второй проблемой организации пригородного сообщения, которая в условиях рыночного функционирования выходит на первый план, является убыточность пригородных пассажирских перевозок во всех странах мира при отсутствии государственной поддержки. По информации из доклада на пассажирском форуме в 2016 г. [1], полное субсидирование пригородных перевозок на железнодорожном транспорте осуществляется в Германии и Канаде, частичное — в Великобритании, Бразилии, за счет грузовых перевозок — в Индии, Китае.

На территории России субъект Федерации выступает перед ОАО «РЖД» как заказчик формирования маршрутной сети, устанавливает тарифы для населения с учетом его платежеспособности и сохранения транспортной доступности. При этом субъект РФ должен в полной мере предусматривать в региональном бюджете компенсацию выпадающих доходов пригородных компаний. В свою очередь федеральный бюджет берет на себя компенсацию затрат «РЖД» на содержание инфраструктуры пригородного комплекса. На практике власти субъектов Федерации ведут себя по-разному, в некоторых регионах субсидируют в полном объеме, в других субсидирование либо отсутствует, либо осуществляется в меньшем размере. Среди основных причин такого положения можно назвать следующие:

- отсутствие адекватных способов прогнозирования потенциального пассажиропотока для целей формирования маршрутной сети с учетом его структуры и неравномерности в течение суток;
- непрозрачный и слабо аргументированный размер тарифа субсидируемого маршрута;

- маршрут пригородного сообщения может проходить по территории двух и более субъектов Федерации, которым бывает непросто достигнуть взаимопонимания, а порой и заказать время прибытия и отправления, обоснованное для того или иного субъекта, также из-за отсутствия свободных ниток графика.

Необходимо отметить, что структура пригородного сообщения ввиду социальных характеристик пассажиропотока и маршрута неоднородна. Наряду с социально значимыми (заведомо дотационными) существуют и коммерчески выгодные маршруты — ускоренные, в комфортабельных вагонах, аэроэкспрессы. Логично предположить, что необходимо детально исследовать маршруты передвижения пассажиров на разных видах транспорта, а затем принимать решение, каким видом транспорта обслуживать пассажиропоток с учетом его характеристик. Следовательно, изучение вопроса разделения и детализации маршрутов пригородного сообщения можно считать актуальным.

Распоряжением ОАО «РЖД» от 5 апреля 2014 г. № 859р нумерация для поездов пригородного сообщения установлена следующая:

- 6001–6998 — пригородные, приграничные пригородные (региональные) поезда;
- 7001–7198 — скоростные пригородные поезда с резервированием мест;
- 7201–7598 — скорые пригородные и городские поезда;
- 7601–7628 — поезда служебного (специального) назначения.

Как видно из описания, такой подход учитывает скорость движения, район сообщения и возможность резерва места и не учитывает особенности пассажиропотока. В 2009 г. ОАО «РЖД» (распоряжение от 01.07.2009 г. № 1393р) утвердило методику классификаций железнодорожных линий (5 классов), где критериями являются: скорость движения поездов, грузонапряженность (показатель интенсивности перевозок, в т. ч. и пассажиров), размеры движения и вхождение линий в основные направления. Особенности и структуру пассажиропотока такой подход не учитывает.

За рубежом используется обширный набор категорий (классов) поездов, обслуживающих пассажирские маршруты, в зависимости от назначения, вида мест (сидения и лежания), продолжительности поездки и дальности перевозок, с учетом количества остановок. Анализ зарубежной практики позволил авторам статьи [2] предложить четыре категории поездов (пригородно-городские, региональные, межрегиональные, ночные поезда-гостиницы) и обосновать увеличение дальности пригородной зоны в центральном регионе России до 350 км, а в восточных регионах до 600 км. Необходимо добавить, что в выводах статьи [2] сформулирована необходимость выполнения процедур классификации при-



городных участков по таким показателям, как динамика величины пассажиропотока, регулярность совершения поездок пассажирами (преобладание ежедневных, будних или разовых поездок в общем числе), сменяемость пассажиров в пределах маршрутов следования, изменение величины и густоты пассажиропотока по длине пригородного направления, средняя дальность поездки пассажира, влияние сезона на величину пассажиропотока, дня недели на величину пассажиропотока, неравномерность пассажиропотоков по направлению движения (наличие ярко выраженных преобладаний только в одну сторону в определенные периоды суток), платежеспособность пассажиров, влияние изменения предложения на автомобильном рынке на спрос на железнодорожном транспорте (эластичность спроса), причем список признаков классификации остался открытым.

Автором работы [3] было выполнено маркетинговое исследование пассажиропотока пригородных участков полигона Дальневосточной железной дороги, которое позволило предложить следующие подходы к классификации пригородных железнодорожных участков:

- по объемам выполняемой работы (высокоростные, малодеятельные, малоинтенсивные, социально значимые);
- по расположению на территории субъекта Федерации (на территории одного субъекта, на территории двух и более субъектов);
- по организационным формам управления (дорожные дирекции по обслуживанию пассажиров в пригородном сообщении, пригородные пассажирские компании (ППК), пассажирские компании (ПК));
- по типу агломерации (моноцентрические, полицентрические);
- по наличию конкуренции на транспортном рынке (внутренняя, межвидовая);
- по расположению схемы железнодорожных путей (кольцевые, линейные, радиальные);
- по роду тяги (электрифицированные, неэлектрифицированные);
- по типу устройств СЦБ и связи (автоблокировка, полуавтоблокировка, электрожелезная система);
- по численности населения, проживающего вдоль железнодорожного пригородного участка (более 1000 тыс. человек, до 1000 тыс. человек, менее 500 тыс. человек);
- по ширине железнодорожной колеи (материковая (1520 мм), островная (1067 мм)).

Данный подход представляет собой профессиональный взгляд перевозчика железнодорожного транспорта и позволяет выбрать оптимальный тип подвижного состава и технологию его обслуживания, однако он

не учитывает экономические показатели участков, вопросы размера дотаций, конкуренции с другими видами транспорта.

В рамках изучения вопроса сепарации маршрутов пригородного сообщения представляет интерес работа по анализу факторов, влияющих на пригородный пассажиропоток [4]. Все факторы разделены на пять групп: демографические, демографо-социальные, социально-экономические, экономические и транспортные. С учетом балльных оценок экспертов были выявлены 36 показателей.

Учитывая, что научно обоснованная классификация маршрутов пригородного сообщения отсутствует, можно сделать вывод о необходимости постановки и решения задачи кластерного анализа, в рамках которого следует определить параметры, по которым маршруты будут оцениваться. Анализ существующих исследований и консультации авторов статьи с сотрудниками Свердловской пригородной компании позволили предварительно сформулировать следующие три группы факторов: характеристики пассажиропотока, технические характеристики маршрута и наличие нескольких вариантов обслуживания пассажиропотока с учетом технико-экономических показателей используемых или планируемых видов транспорта. В такой композиции будет реализована возможность найти баланс потребительских ожиданий пассажиров и экономических показателей работы транспорта. Такой подход был рассмотрен в работе [5], но в числе критериев вариантов маршрутной сети отсутствуют характеристики пассажиропотока. Выбор показателей, характеризующих вышеуказанные факторы, предлагается выполнить с помощью экспертного опроса в виде парных сравнений, поскольку в настоящее время методы балльных оценок и прямого ранжирования подвергнуты серьезной критике со стороны специалистов теории измерений.

### Заключение

В связи с тем, что субъект РФ обязан не только разрабатывать стратегию транспортного обслуживания населения в регионе, но и нести финансовую ответственность за результаты ее реализации, а также учитывая существование нескольких вариантов организации перевозки пассажиров в пригородном сообщении, необходимо разработать научно обоснованную классификацию маршрутов пригородного сообщения. В качестве гипотезы исследования определены три группы факторов, показатели которых необходимо учитывать при выполнении процедур кластерного анализа участков пригородного пассажирского сообщения. **ИТ**

## Список литературы

1. Организация пригородных пассажирских перевозок железнодорожным транспортом: доклад генерального директора ИПЕМ Саакяна Ю. З. // Экономика железных дорог. — 2016. — № 6. — С. 13–21. — ISSN 1727–6500.
2. Вакуленко С. П., Колин А. В. О критериях определения категорий пригородных поездов // Мир транспорта. — 2012. — Т. 10, № 6 (44). — С. 16–21. — ISSN 1992–3252.
3. Гарбузова В. В. Повышение эффективности работы железнодорожных пригородных пассажирских перевозок // Власть и управление на востоке России. — 2011. — № 2. — С. 190–196. — ISSN 1818–4049.
4. Степанова Е. С. Анализ и оценка факторов, влияющих на пригородный пассажиропоток : автореф. дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05. — Новосибирск, 2015. — 159 с.
5. Сай В. М., Брусянин Д. А. Оценка методом линейной свертки частных критериев вариантов маршрутной сети пассажирских перевозок // Экономика железных дорог. — 2014. — № 10. — С. 63–72.

УДК 629.4



Ши Мяомяо  
Shi Miaomiao



Чжан Сюэцзюань  
Zhang Xiujuan



Ян Дашунь  
Yang Dashun



Ван Бо  
Wang Bo

## Анализ посадки бандажа колесной пары с натягом методом конечных элементов

### Finite Element Analysis of Interference Fit in a Wheelset Assembly

(Статья публикуется в авторской редакции)

#### Аннотация

На основе теории о посадке бандажа колесной пары с натягом толстостенного цилиндра проводился анализ эластичных и пластических конечных элементов колесной пары с помощью программного обеспечения ABAQUS. Получены значения и нормы распределения максимального эквивалентного напряжения, контактных напряжений и упругих и пластических деформаций для ступицы и вала колеса. Выдвигаются методы влияния различных величин помех на максимальное эквивалентное напряжение, максимальное контактное напряжение, а также упругие и пластические деформации. Проведено сравнение результатов анализа упругих и упруго-пластических результатов анализа. Сравнение результатов показало, что упруго-пластические результаты анализа более соответствовали фактическим.

**Ключевые слова:** колесная пара, посадка с натягом, упругий и пластический анализ, величина помех.

DOI:10.20291/2311-164X-2016-3-25-30

#### Авторы Authors

Ши Мяомяо, кандидат наук, Институт машиностроения, Даляньский транспортный университет, Далянь, Китай | Чжан Сюэцзюань, профессор, Институт машиностроения, Даляньский транспортный университет, Далянь, Китай | Ян Дашунь, кандидат наук, Институт машиностроения, Даляньский транспортный университет, Далянь, Китай | Ван Бо, кандидат наук, Институт машиностроения, Даляньский транспортный университет, Далянь, Китай

Shi Miaomiao, MPhil candidate, School of Mechanical Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian, China | Zhang Xiujuan, Professor, School of Mechanical Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian, China | Yang Dashun, MPhil candidate, School of Mechanical Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian, China | Wang Bo, MPhil candidate, School of Mechanical Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian, China

#### Summary

Based on the theory of interference fit of thick-wall cylinder, elastic and elastic and plastic finite element analyses of a wheelset are performed by using software named ABAQUS. The values and distribution rules of the maximum equivalent stress, contact stress, and elastic and plastic strains for the hub and wheel shaft are obtained. The effect rules of different magnitudes of interference on the maximum equivalent stress, the maximum contact stress, and elastic and plastic strains are put forward. Comparison between the elastic analysis results and the elastic and plastic analysis results is performed. Comparison results state that the elastic and plastic analysis results are more conformed to the fact.

**Keywords:** wheelset; interference fit; elastic and plastic analysis; magnitude of interference

Wheelset is formed by hub and wheel shaft which are connected by interference fit. It is contacted with the rail and directly withstood all loads and shocks of the vehicle. The safe operation of the vehicle is determined by the wheelset quality. The problem of fatigue reliability is increasingly prominent for wheelsets. The stress and strain of wheelset in interference fit need to be studied. The effect rule of different interference magnitudes on the stress and strain for the fit surface is put forward in order to improve the fatigue life and transmission capability of wheelsets.

The wheelset of K6 bogie is taken as the research object. According to its structural characteristics, the interference fit between the hub and the wheel shaft is equivalent to that of thick-wall cylinder. Elastic and plastic finite element analyses of interference fit are performed by using software named ABAQUS. The values and distribution rules of the maximum equivalent stress, contact stress, and elastic and plastic strains for the hub and wheel shaft are obtained. The effect rules of different magnitudes of interference on the maximum equivalent stress, contact stress, and elastic and plastic strains are concluded. Comparison between the elastic analysis results and the elastic and plastic analysis results is performed.

## 1. Theoretical Analysis Model

According to the theory of elastic mechanics, the stress and strain generated in the pressing process of wheelset can be calculated in light of the interference fit theory of thick-walled cylindrical [1].

### 1.1. Stress of thick-wall cylinder

As the symmetry of the structure, the radial displacement and circular expansion are generated on a random point of cylinder. The value of radial displacement changes with the variation of radius. The stress of length element is shown in Fig. 1 when the radius is equal to  $r$ . The radial stress is increased from  $\sigma_r$  to  $\sigma_r + d\sigma_r$ . Based on the radial equilibrium conditions of element, an equation can be described as:

$$\begin{aligned} &(\sigma_r + d\sigma_r)(r + dr)d\theta \times L - \sigma_r \times rd\theta \times L = \\ &= 2\sigma_\theta \times dr \times L \times \sin \frac{d\theta}{2} \end{aligned} \quad (1)$$

where  $r$  is the radius of thick-wall cylinder, mm;  $L$  is length of the thick-wall cylinder, mm;  $\theta$  is the angle of length element, degree; and  $\sigma_r$  and  $\sigma_\theta$  are radial stress and tangential stress, respectively, MPa.

According to Latin American formula [2, 3], the radial and tangential stresses at any position with radius  $r$  can be written as:

$$\sigma_r = -\left(\frac{r_2^2}{r^2} - 1\right) \left/ \left(\frac{r_2^2}{r_1^2} - 1\right)\right. P_1 - \left(1 - \frac{r_1^2}{r^2}\right) \left/ \left(1 - \frac{r_1^2}{r_2^2}\right)\right. P_2 \quad (2)$$

$$\sigma_\theta = -\left(\frac{r_2^2}{r^2} + 1\right) \left/ \left(\frac{r_2^2}{r_1^2} - 1\right)\right. P_1 - \left(1 + \frac{r_1^2}{r^2}\right) \left/ \left(1 - \frac{r_1^2}{r_2^2}\right)\right. P_2 \quad (3)$$

where  $P_1$  is the inner pressure;  $P_2$  is the outer pressure; and  $r_1$  and  $r_2$  are the inner and outer diameters.

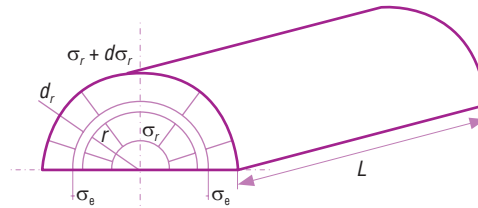


Figure 1. Stress on the element

### 1.2. Displacement of thick-wall cylinder

For the thick-wall cylinder subjected to two-direction stresses, the relationship between stress and strain can be expressed as:

$$\varepsilon_r = \frac{\sigma_r}{E} - \mu \frac{\sigma_\theta}{E} \quad (4)$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{\sigma_\theta}{E} - \mu \frac{\sigma_r}{E} \quad (5)$$

where  $E$  is the elastic modulus;  $\mu$  is the Poisson's ratio;  $\varepsilon_r$  and  $\varepsilon_\theta$  are the radial and tangential strains.

According to the Latin American formula, the displacement of the thick-wall cylinder can be calculated as [2]:

$$u = \frac{1 - \mu}{E} \frac{r_1^2 P_1 - r_2^2 P_2}{r_2^2 - r_1^2} r + \frac{1 + \mu}{E} \frac{r_1^2 r_2^2 (P_1 - P_2)}{(r_2^2 - r_1^2) r} \quad (6)$$

## 2. Finite Element Analysis

The basic sizes of wheelset are shown in Tables 1 and 2, respectively. The diameter of the fit surface between the hub and the wheel shaft is 210 mm. The effective contact length of hub is 178 mm and the circular radius of the fillet is 3 mm [4].

Elastic and plastic finite element analyses for the interference fit of a wheelset assembly are performed using software named ABAQUS. Integration quadrilateral axial symmetric element CAX4R is selected, material properties are shown in Table 3 [4], finite element analysis model and the mesh are shown in Fig. 2. Six DOFs of wheel shaft is constrained and the displacement in the direction of Y-axis is 0.180 mm for the hub. The friction coefficient of contact surface between hub and wheel shaft is defined as 0.11.

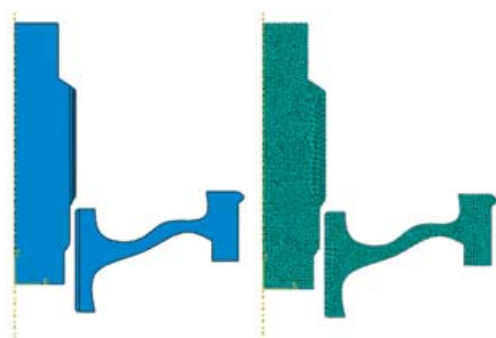


Figure 2. Model and mesh of wheelset

When the plastic material data are defined, true stress and strain must be used in the model and can be described as:

$$\varepsilon_{pl} = \varepsilon_{true} - \varepsilon_{el} = \varepsilon_{true} - \sigma_{true}/E \quad (7)$$

where  $\varepsilon_{pl}$  is the true plastic strain;  $\varepsilon_{true}$  is the real total strain;  $\varepsilon_{el}$  is the real elastic strain;  $\sigma_{true}$  is the true stress; and E is elastic modulus.

The constitutive data of wheelset are shown in Tables 4 and 5 [5], respectively.

Table 1

Basic parameters of hub

Wheel diameter (mm)	Inner radius (mm)	Hole radius (mm)	Outer diameter (mm)	Length (mm)	Height (mm)	Theoretical weight (kg)
840	740	209.8	286	178	76	325

Table 2

Basic parameters of wheel shaft

Journal length (mm)	Journal diameter (mm)	Seat length (mm)	Seat diameter (mm)	Body length (mm)	Height (mm)	Theoretical weight (kg)
210	150	183.5	210	1228	184	451

Table 3

Material properties of wheelset

	Material	Elastic modulus (GPa)	Poisson's ratio	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Contraction of area (%)
Hub	CL60	210	0.3	≥ 910	≥ 10	≥ 14
Wheel shaft	LZ50	210	0.3	≥ 610	≥ 22	≥ 37

Table 4

Constitutive data of the hub material

Strain (%)	0	0.0837	0.2501	0.348	0.5237	0.6902	0.9327	1.406	1.7173
Stress (MPa)	0	160.59	339.18	384.32	435.79	469.13	505.07	554.32	578.73

Table 5

Constitutive data for the material of wheel shaft

Strain (%)	0	0.0564	0.1371	0.2309	0.3181	0.4034	0.5294	0.7366	0.8599
Stress (MPa)	0	158.97	238.46	283.46	312.31	333.95	359.48	391.82	407.56

2.1. Results of elastic analysis

According to «Wheelset Assembly Technique Condition of Railway Vehicle (TB/T1718–2003)» [6], the magnitude of interference  $\delta$  should be 0.08–0.15% of wheel seat diameter. In this paper, the magnitudes of interference of 0.15 mm, 0.20 mm, 0.25 mm, and 0.30 mm are selected to simulate the pressing process of wheelset. The results of finite element analysis are shown in Table 6.

Table 6

Results of elastic analysis

Magni- tude of inter- ference (mm)	Maximum equivalent stress (MPa)		Maximum contact stress (MPa)	Maximum elastic strain ( $10^{-3}$ )	
	hub	wheel shaft		hub	wheel shaft
0.15	194	84.7	210	0.49	0.16
0.20	240	86.3	224	0.65	0.24
0.25	297	113	273	0.80	0.27
0.30	348	134	316	0.98	0.34

It is obvious that the maximum equivalent stress and the elastic strain of the hub are larger than those of wheel shaft. The maximum contact stress of hub is equal to that of wheel shaft and is increased with the growth of interference magnitude. Its increase amplitude is up to 50.5%. The maximum equivalent stresses of hub and wheel shaft are also increased with the growth of interference magnitude. The increase amplitude of the hub is greater than that of wheel shaft. The maximum elastic strains of hub and wheel shaft are increased with the growth of interference magnitude. The increase amplitudes of the maximum elastic strain for the hub and wheel shaft are relatively close to each other.

The stress contour of the fit surface is shown in Fig. 3 when the magnitude of interference is 0.30 mm. It can be seen that the area of stress concentration for the wheel shaft is generated near the wheel center. The area of stress concentration for the wheel hub is occurred on the contact surface. From the radial stress contour, it is obvious that the variation rule is opposite to that of equivalent stress, because the values of equivalent stress is positive and the values of radial stress is negative in the finite element analysis model. From the circumferential stress contour, it can be concluded that its variation rule is similar to that of equivalent stress. The magnitude of equivalent stress is determined by the circumferential stress, while its variation amplitude is determined by the radial stress.

2.2 Results of elastic and plastic finite element analyses

As above-mentioned, the stress concentration is generated on the contact surface of wheelset in the elastic finite element analysis. The maximum equivalent stress and the maximum contact stress are exceeded the yield limits of wheelset materials. The plastic strain is occurred and the elastic finite element analysis is no longer suitable. The elastic and plastic finite element analysis is adapted to get the effect rules of different magnitudes of interference on the maximum equivalent stress, the maximum contact stress, and elastic and plastic strain for the wheelset.

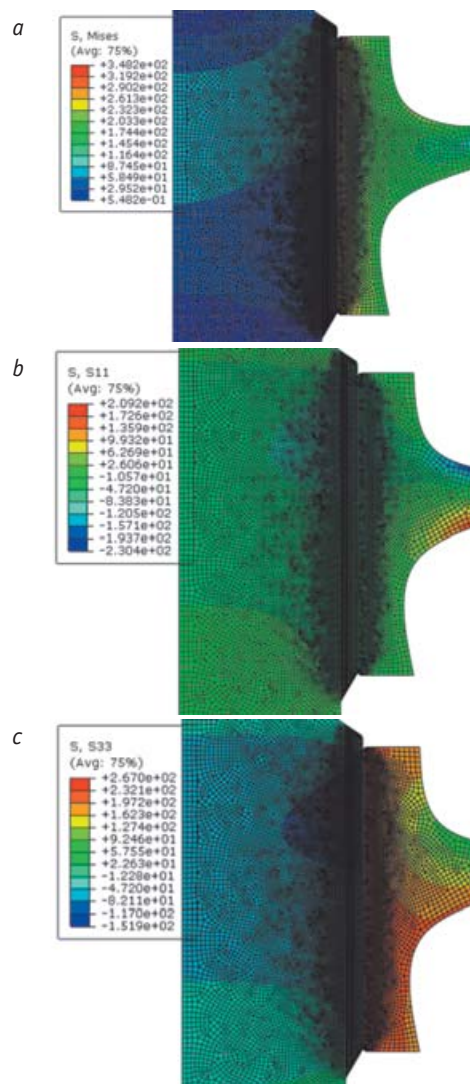


Figure 3. Stress contours of fit surface: a — equivalent stress; b — radial stress; c — circumferential stress

The plastic strain contours are shown in Fig. 4 when the magnitude of interference are 0.15 mm, 0.20 mm, 0.25 mm and 0.30 mm, respectively. It can be seen that the small

plastic strain is occurred on the hub when the magnitude of interference is 0.15 mm. The plastic strain is obvious when the magnitude of interference is greater than or equal to 0.20 mm. The maximum plastic strain are occurred on the contact surface of the pressing end.

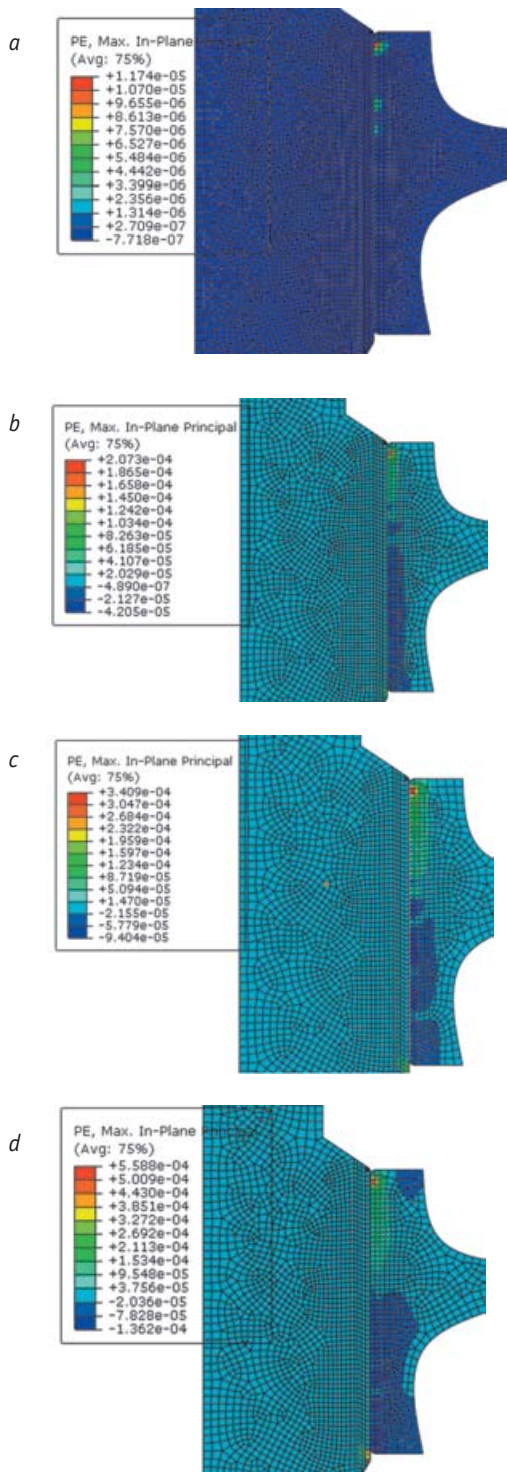


Figure 4. Plastic strain contours on the contact surface: a —  $\delta = 0.15$  mm; b —  $\delta = 0.20$  mm; c —  $\delta = 0.25$  mm; d —  $\delta = 0.30$  mm

The equivalent stress contour of the fit surface is shows in Fig. 5 when the magnitude of interference is 0.30 mm. The equivalent stress of hub is significantly greater than that of wheel shaft. The maximum equivalent stress are occurred on the fit surface between the hub and the wheel shaft. The stress concentration is generated near the center region of hub. The stress concentration of fit surface can easily lead to the relative slide between the hub and the wheel shaft. The wear will be generated and will decrease the fatigue strength of the wheelset.

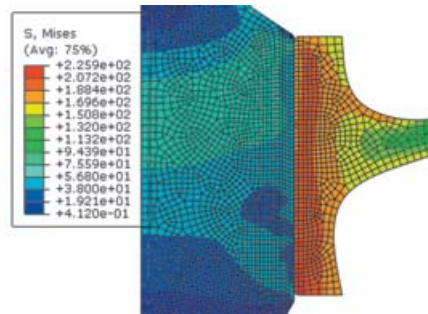


Figure 5. Equivalent stress contour

The results of plastic finite element analysis are shown in Table 7. The maximum equivalent stresses of hub and wheel shaft are increased with the growth of interference magnitude. The increase amplitudes of the maximum equivalent stress are 79.0% and 65.3% for the wheel shaft and hub, respectively. The former is larger than the latter, which is opposite to the results of elastic analysis. The maximum contact stress is also increased with the growth of interference magnitude. The increase amplitude is up to 46.3% and its value is close to that of elastic analysis. The plastic strain are occurred on the hub when the magnitude of interference is 0.15 mm, while the wheel shaft is still in the state of elastic strain. The plastic strain is generated on the wheel shaft when the magnitude of interference is greater than or equal to 0.20 mm. The maximum plastic strain is increased with the growth of interference magnitude. The increase amplitude of hub is closed to that of wheel shaft.

Table 7

Results of elastic and plastic analysis

Interference (mm)	Maximum equivalent Stress (MPa)		Maximum contact Stress (MPa)	Maximum plastic strain ( $10^{-3}$ )	
	hub	wheel shaft		hub	wheel shaft
0.15	136.5	44.01	95.37	0.0117	0
0.20	179.2	58.72	104.3	0.2070	0.0824
0.25	202.6	67.88	115.1	0.3409	0.1762
0.30	225.9	78.79	139.5	0.5588	0.5008

### 2.3. Comparison between the elastic and elastic and plastic analysis results

The results of finite element analysis are shown in Tables 6 and 7. The maximum equivalent stress of the wheelset is smaller than the yield strength, when the magnitude of interference is 0.15 mm. The wheelset is still in the stage of elastic strain. The maximum equivalent stress exceeds the yield strength when the magnitude of interference is large than 0.20 mm and the plastic strain are occurred. The maximum equivalent stress and strain of wheel shaft are less than the those of hub for the elastic and elastic and plastic analyses. The contact stress of wheel shaft is equal to that of hub. The strain, the maximum contact stress and the maximum equivalent stress are increased with the growth of interference magnitude. The variation rules are similar for the elastic and elastic and plastic analyses. The values of strain and stress in the elastic and plastic analysis simulation are smaller than those of elastic analysis, which is consistent with the fact.

### 3. Conclusions

Based on the analysis model of thick-walled cylinder, the elastic and elastic and plastic finite element analysis models are created to simulate the interference fit of wheelset. The plastic strain of wheel shaft is generated when the magnitude of interference is greater than or equal to 0.2 mm. The equivalent stress of hub is significantly greater than that of wheel shaft. The stress concentration is generated on the fit surface between the hub and the wheel shaft. The strain, the maximum contact stress and the maximum equivalent stress are increased with the growth of interference magnitude. The variation rules are similar for the elastic and elastic and plastic analyses. The values of strain and stress in the elastic and plastic analysis simulation are smaller than those of elastic analysis, which is consistent with the fact. **ИТ**

### Список литературы / References

1. Zhao H. Numerical analysis of the interference fitting stresses between wheel and shaft [J] // International Journal of Material Production Technology. — 1997. — 12 (4) : 514–526.
2. Xu Zhilun. Elasticity [M]. — Beijing : Higher Education Press, 2008.
3. Wang Buying. Theories and Methods of Strength Calculation of Mechanical Parts [M]. — Beijing : Higher Education Press, 1986.
4. Dong Jie. Finite element analysis of shrink-fit surface in a wheelset assembly [D]. — Chengdu : Southwest Jiaotong University, 2010.
5. Feng Mingfei. Fatigue reliability analysis on the wheelset of C70 type railway freight car [D]. — Chengdu : Southwest Jiaotong University, 2009.
6. Conditions on the railway vehicle wheel assembly technology [S]. — Beijing : China Railway Publishing House, 2003.





**И Чживэнь**  
Yi Zhiwen



**Чжан Сюцзюань**  
Zhang Xiujuan



**Ян Дашунь**  
Yang Dashun



**Ван Бо**  
Wang Bo

## Изучение влияния свойств материалов на производительность прессы при формировании колесной пары

### Influence Study of Material Properties on the Press-Assembly Performance of Wheelset

(Статья публикуется в авторской редакции)

#### Аннотация

В качестве примера приведен процесс пресс-сборки колесной пары, который включает в себя стальной узел HESA и ось RE2B. Степень влияния свойств материала, например коэффициент трения, модуль упругости и коэффициент Пуассона, на пластическую деформацию, максимальное контактное напряжение и максимальное эквивалентное напряжение изучаются с использованием программного обеспечения для анализа конечных элементов ABAQUS. Результат анализа показывает, что коэффициент трения и модуль упругости являются основными факторами влияния, в то время как коэффициент Пуассона в основном не имеет никакого эффекта на производительность колесных пар в пресс-сборке. Кроме того, модуль упругости и коэффициент трения имеют примерно одинаковую степень эффекта на пластическую деформацию, в то время как модуль упругости является основным фактором влияния на максимальное контактное напряжение.

**Ключевые слова:** производительность пресс-сборки колесной пары, свойства материала.

DOI:10.20291/2311-164X-2016-3-31-35

#### Авторы Authors

**И Чживэнь**, кандидат наук, Институт машиностроения, Даляньский транспортный университет, Далянь, Китай | **Чжан Сюцзюань**, профессор, Институт машиностроения, Даляньский транспортный университет, Далянь, Китай | **Ян Дашунь**, кандидат наук, Институт машиностроения, Даляньский транспортный университет, Далянь, Китай | **Ван Бо**, кандидат наук, Институт машиностроения, Даляньский транспортный университет, Далянь, Китай

**Yi Zhiwen**, MPhil candiadate, School of Mechanical Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian, China | **Zhang Xiujuan**, Professor, School of Mechanical Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian, China | **Yang Dashun**, MPhil candiadate, School of Mechanical Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian, China | **Wang Bo**, MPhil candiadate, School of Mechanical Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian, China

#### Summary

The press-assembly process of wheelset which involves of a HESA steel hub and a RE2B axle is applied as the instance. The influence rules of material properties, such as friction coefficient, elastic modulus and Poisson's ratio, on the plastic strain, the maximum contact stress and the maximum equivalent stress are studied using finite element analysis software ABAQUS. Analysis result shows that the friction coefficient and elastic modulus are the main influencing factors, while Poisson's ratio has no effect basically on press-assembly performance of wheelset. In addition, the elastic modulus and the coefficient of friction have roughly the same effect degree on the plastic deformation, while elastic modulus is the major effect factor for the maximum contact stress.

**Keywords:** press-assembly performance of wheelset, material properties.

Wheelset press-assembly process belongs to interference fit and has some advantages such as large transmit torque and good reliability. A lot of researchers give their great contribution to the related research. The residual fatigue life of wheelset is obtained by analyzing the cracks [1]. Elastic deformation of wheelset is simulated using a new wheel-rail contact point searching algorithm [2]. The fault tolerance for actively controlled railway wheelset on its failure mode is also studied [3]. The appropriate interference for the wheelset assembly is obtained by the finite element contact analysis [4]. The nonlinear dynamical method is introduced to study the wheelset bearing vibration signal [5]. Besides, actual production practice shows that it is very important to select the suitable materials for improving the press-assembly performance of wheelset. Therefore, a wheelset is applied as the instance in this paper. The influence rules of material properties such as friction coefficient, elastic modulus and Poisson's ratio on the press-assembly performance of wheelset are summarized using finite element analysis software ABAQUS.

### 1. Theoretical Analysis

The wheelset press-assembly process includes elastic process and plastic process. In the elastic analysis, the stress state of fitting surface is shown in Fig.1. The contact pressure between the inner ring and outer ring is  $p_0$  [6] and can be described as:

$$p_0 = \frac{\delta}{2b} \cdot \frac{1}{\frac{c^2 + b^2}{E_1(c^2 - b^2)} + \frac{b^2 + a^2}{E_2(b^2 - a^2)} + \frac{\mu_1}{E_1} - \frac{\mu_2}{E_2}} \quad (1)$$

Where  $\delta$  is the magnitude of interference;  $a$  is the inside radius of inner ring;  $b$  is the radius of contact surface between inner ring and outer ring;  $c$  is the outside radius of outer ring;  $E_1$  and  $E_2$  are the material elastic moduli of outer ring and inner ring, respectively;  $\mu_1$  and  $\mu_2$  are the Poisson's ratios of outer ring and inner ring, respectively.

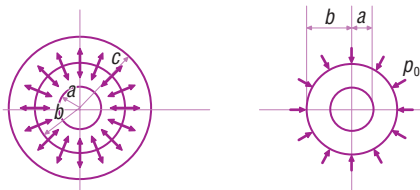


Figure1. Stressing statue of fitting surfaces

The radial stress  $\sigma_r$  and circumferential stress  $\sigma_t$  for the surface whose radius is  $r$  can be expressed as:

$$\sigma_r = -b^2 p_0 (1 - a^2/r^2) / (b^2 - a^2) \quad (2)$$

$$\sigma_t = -b^2 p_0 (1 + a^2/r^2) / (b^2 - a^2) \quad (3)$$

The equivalent stress of the surface whose radius is  $r$ , namely  $\sigma_{sv}$  is written as:

$$\sigma_{sv} = \sqrt{\frac{1}{2} [\sigma_r^2 + \sigma_t^2 + (\sigma_t - \sigma_r)^2]} \quad (4)$$

In the elastic and plastic analyses of interference fit, the external pressure is  $p_0$  as shown in Fig. 2, a. The elastic and plastic interface is the cylinder surface with the radius of  $b$ . Radial stress on the interface  $\sigma_r$  is equal to  $q_0$ . The cylinder is separated by the interface into two cylinders. One cylinder is shown in Fig. 2, b, which is affected by pressure  $q_0$ . The other is shown in Fig. 2, c, which is affected by pressures  $q_0$  and  $p_0$ . Radial stress  $\sigma_{rb0}$  and circumferential stress  $\sigma_{tb0}$  in the elastic zone can be expressed as:

$$\sigma_{rb0} = \frac{1}{c^2 - b^2} [b^2 q_0 - c^2 p_0 - c^2 (q_0 - p_0)] = -q_0 \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{tb0} &= \frac{1}{c^2 - b^2} [b^2 q_0 - c^2 p_0 + c^2 (q_0 - p_0)] = \\ &= \frac{1}{c^2 - b^2} [(b^2 + c^2) q_0 - 2c^2 p_0] \end{aligned} \quad (6)$$

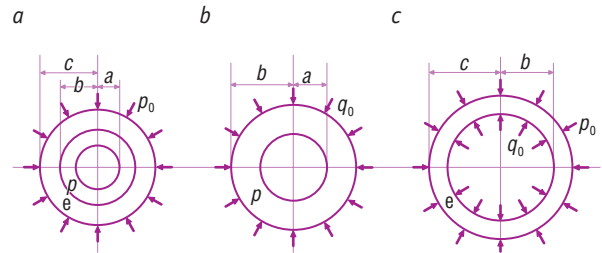


Figure 2. Plastic deformation

The stress of plastic zone  $\sigma_{rp0}$  is:

$$\sigma_{rp0} = \frac{2\sigma_s \ln \frac{r}{a}}{\sqrt{3}} \quad (7)$$

where  $\sigma_s$  is the yield limit.

The displacement  $u_{eb0}$  for the position where  $r = b$  in the elastic zone, can be calculated as:

$$u_{eb0} = \left\{ \frac{1-\mu}{E} \left( \frac{q_0 b^2 - p_0 c^2}{c^2 - b^2} \right) + \frac{1+\mu}{E} \left[ \frac{c^2 (q_0 - p_0)}{c^2 - b^2} \right] \right\} b \quad (8)$$

when  $r = c$ , the displacement  $u_{ec0}$  is:

$$u_{ec0} = \left\{ \frac{1-\mu}{E} \left( \frac{q_0 b^2 - p_0 c^2}{c^2 - b^2} \right) + \frac{1+\mu}{E} \left[ \frac{b^2 (q_0 - p_0)}{c^2 - b^2} \right] \right\} c \quad (9)$$

where  $E$  is elasticity modulus and  $\mu$  is Poisson's ratio.

For the displacement in plastic zone, the radial displacement of inner hole  $u_{pa0}$  is obtained as:

$$u_{pa0} = u_{eb0} \frac{a}{b} \quad (10)$$

## 2. Creating Models

The basic parameters of hub are as follows: wheel diameter is 840mm, inside radius of hub is 740 mm, hole radius of hub is 209.8 mm, external diameter of hub is 286 mm, hub length is 178 mm and hub height is 76mm. The basic parameters of axle are as follows: axle neck length is 210 mm, axle diameter is 150 mm, wheel seat length is 183.5 mm, wheel seat diameter is 210 mm, wheel body length is 1228 mm, axle height is 184 mm. The finite element analysis model is shown in Fig. 3. The hub material is CL60 steel whose strength of extension is 910 Mpa, elastic modulus is 210 Gpa, and Poisson's ratio is 0.3. The constitutive data of the hub material is given in Table 1. The axle material is LZ50 whose elastic modulus is 210 Gpa and Poisson's ratio is 0.3. The constitutive data of the axle material is given in Table 2.

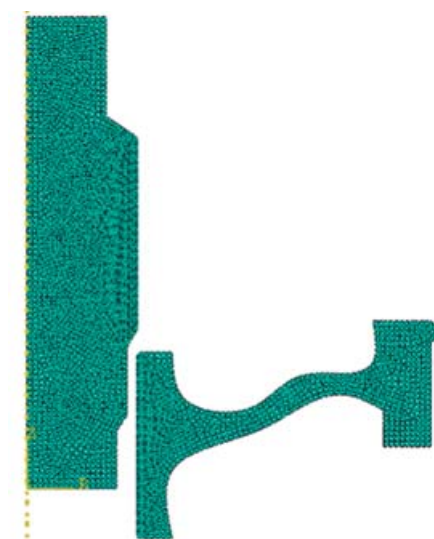


Figure 3. Finite element analysis model

## 3. Influence Analysis of Material Properties

### 3.1 Coefficient of Friction

Four coefficients of friction, such as 0.10, 0.15, 0.20 and 0.25, are selected to perform the analysis. Analysis results of strain and stress are shown in Fig. 4 and Table 3. It is obvious that the increase of coefficient of friction makes the increase of plastic strain amplitude. At the beginning of the press-assembly, its plastic strain rate is the maximum. The growing rate of the maximum contact stress caused by variation of friction coefficient is lower. The highest growing rate is 10% and the lowest is 3%. The maximum growing rate is in the later stage of press-assembly process. With the increase of friction coefficient, the growing rate of the maximum equivalent stress has not changed basically. The highest growing rate is still in the early stage of the press-assembly process. At the same time, it also can be found that the growing rate of the maximum equivalent stress in the medium stage and later stage are almost the same.

Table 1

Constitutive data of the hub material

Strain (%)	Stress (MPa)
0	0
0.0837	160.59
0.2501	339.18
0.348	384.32
0.5237	435.79
0.6902	469.13
0.9327	505.07
1.406	554.32
1.7173	578.73

Table 2

Constitutive data of the axle material

Strain (%)	Stress (MPa)
0	0
0.0564	158.97
0.1371	238.46
0.2309	283.46
0.3181	312.31
0.4034	333.95
0.5294	359.48
0.7366	391.82
0.8599	407.56

### 3.2. Elastic Modulus

Elastic moduli of 180 Gpa, 210 Gpa, 240 Gpa and 270 Gpa are chosen respectively to perform the related analysis. Analysis results of strain and stress are shown in Fig. 5 and Table 4. The increase amplitudes of plastic strain and the maximum contact stress are grown with the increase of the elastic modulus. At the early stage of the press-assembly process, the increase amplitude of the maximum equivalent stress is enhanced with the increase of the elastic modulus. The influence of elastic modulus on the maximum equivalent stress is relatively similar to that of the maximum contact stress. Their increase amplitudes are roughly the same.

Table 3

Stress-strain data of hub

friction coefficient	plastic strain (%)			maximum contact stress (Mpa)			maximum equivalent stress (Mpa)		
	beginning	middle	ending	beginning	middle	ending	beginning	middle	ending
0.10	0.14	0.32	0.21	442	223	101	68	202	179
0.15	0.19	0.40	0.29	455	232	110	78	217	191
0.20	0.27	0.56	0.46	467	241	121	89	231	205
0.25	0.54	0.87	0.83	485	252	133	101	251	226

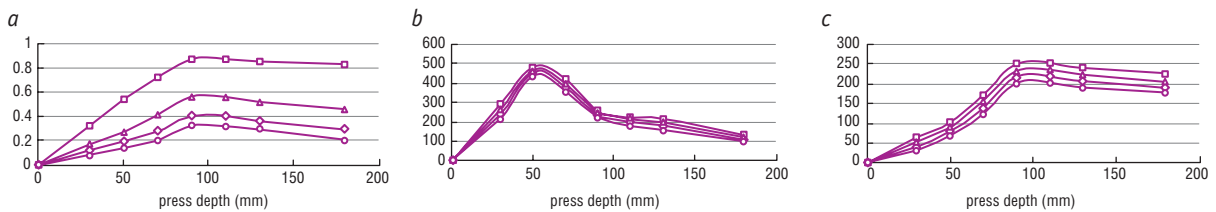


Figure 4. Variation curves of plastic strain and stress:  
 a — plastic strain; b — maximum contact stress; c — maximum equivalent stress  
 ○ — 0.10; ◇ — 0.15; △ — 0.20; □ — 0.25

Table 4

Stress-strain data of hub

elastic modulus	plastic strain (%)			maximum contact stress (Mpa)			maximum equivalent stress (Mpa)		
	beginning	middle	ending	beginning	middle	ending	beginning	middle	ending
180	0.010	0.029	0.017	435	218	95	61	193	170
210	0.014	0.032	0.021	442	223	101	68	202	179
240	0.023	0.041	0.029	453	234	113	83	225	192
270	0.040	0.059	0.045	469	248	129	94	240	204

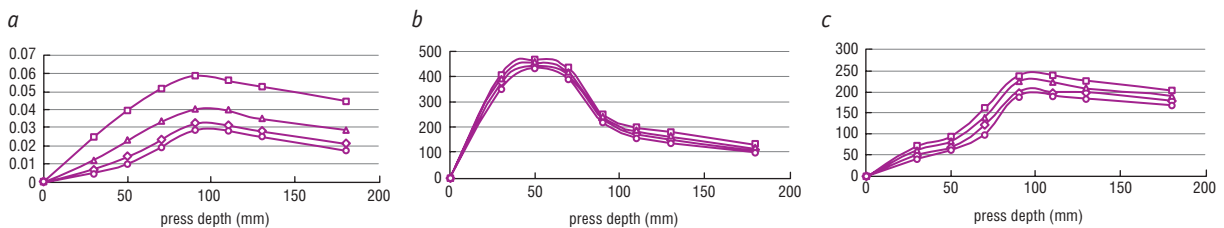


Figure 5. Variation curves of plastic strain and stress:  
 a — plastic strain; b — maximum contact stress; c — maximum equivalent stress  
 ○ — 180 Gpa; ◇ — 210 Gpa; △ — 240 Gpa; □ — 270 Gpa

### 3.3. Poisson's Ratio

When the magnitude of interference is 0.20mm, Poisson's ratio of 0.26, 0.28, 0.30 and 0.32 are chosen respectively for the finite element analysis. Analysis results of stress and strain are shown in Fig. 6 and Table 5. It is obvious that the variation of Poisson's ratio has a little effect

on the stress and strain variations. The increase of the Poisson's ratio can lead to the increase of plastic deformation and stress. But the amplitude of variation is very small, i. e., the influence of Poisson's ratio on the press-assembly performance of the wheel hub and axle is very small. Therefore, Poisson's ratio is not the main effect factor of the press-assembly between the hub and axle.

Table 5

Stress-strain data of hub

Poisson's ratio	plastic strain (%)			maximum contact stress (Mpa)			maximum equivalent stress (Mpa)		
	beginning	middle	ending	beginning	middle	ending	beginning	middle	ending
0.26	0.0134	0.0312	0.0205	439	220	99	66	199	177
0.28	0.0136	0.0315	0.0207	440	221	100	67	200	178
0.30	0.0140	0.0320	0.0210	442	223	101	68	202	179
0.32	0.0143	0.0323	0.0212	443	225	103	69	203	179

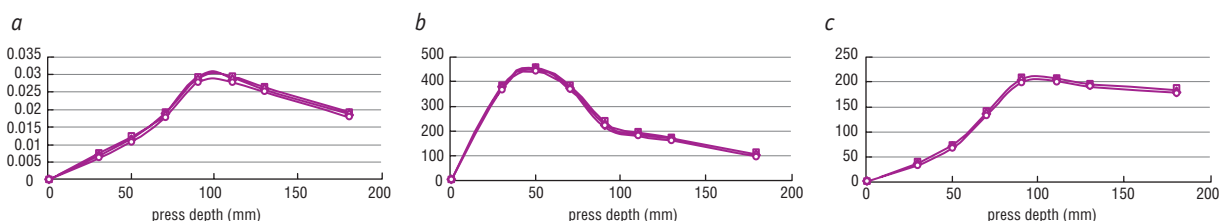


Figure 6. Variation curves of plastic strain and stress:  
 a — plastic strain; b — maximum contact stress; c — maximum equivalent stress  
 ○ — 0.26; ◇ — 0.28; ▲ — 0.30; □ — 0.32

## 4. Conclusions

Above analysis shows that the coefficient of friction and elastic modulus are the main influence factors for the press-assembly performance of the hub and axle. But Poisson's ratio has little effect on it. In addition, the elastic modulus and the coefficient of friction have roughly the same effect degree on the plastic deformation. In the process of the wheelset press-assembly, elastic modulus is the major effect factor for the maximum contact stress. The minimum

increase amplitude of the contact stress is 2%, while the maximum value is 12%. At the same time, elastic modulus also has the large influence on the maximum equivalent stress. The minimum increase amplitude of the equivalent stress is 4%, while the maximum value is 11%. When the elastic modulus is less than 240 Gpa, the variation of stress and strain are relatively uniform and the variation amplitude is relatively small. For the coefficient of friction, when it is less than 0.20, the variation amplitude of stress and strain the wheel press-assembly suffered is also relatively small. ИТ

## Список литературы / References

1. Pokorný, P. et al. Effects of variable loading on residual fatigue life of the railway wheelset // Key Engineering Materials. — 2014. — 577–578: 121–124.
2. Hao, G. and Dai, H. Y. Wheel-rail contact point calculation of flexible wheelset base on wheel-rail contact line method // Applied Mechanics and Materials. — 2012. — 105–107 : 1284–1288.
3. Mirzapour M., Mei T. X., Hussain I. Assessment of fault tolerance for actively controlled railway wheelset // Proceedings of the 2012 UKACC International Conference on Control, Glamorgan, U.K. — 2012. — 631–636.
4. Zhang M. et al. Stress analysis of interference fit in wheelset // Advanced Materials Research. — 2014. — 926–930 : 873–876.
5. Zhao Z. H. and Liu Y. Q. Wheelset bearing vibration analysis based on nonlinear dynamical method // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. — 2012. — 45 (1) : 252–256.
6. Wang B. Y. Theory and Method for Strength Calculation of Mechanical Components. — Beijing : Higher Education Press, 1986 (in Chinese).



**Алексей Владимирович  
Владыкин**

**Aleksey V. Vladykin**



**Николай Олегович  
Фролов**

**Nikolay O. Frolov**

## Поиск оптимального состояния привода с точки зрения энергоэффективности подвижной единицы

### Search for the best status of a drive from the point of view of energy efficiency of a mobile unit

#### Аннотация

Повышение энергоэффективности тягового подвижного состава является актуальной транспортной задачей. В данной статье на примере электропоезда метрополитена раскрываются аспекты комплексного подхода при выборе конструктивных параметров системы «тяговый преобразователь — асинхронный тяговый двигатель — редуктор», соответствующих минимальному общему потреблению электроэнергии подвижной единицей в заданных эксплуатационных условиях.

**Ключевые слова:** электроподвижной состав, электропоезд, асинхронный тяговый привод, расход электроэнергии.

#### Abstract

Improving the energy efficiency of the traction rolling stock is an actual transport task. In this article, the example of the underground electric reveals aspects of an integrated approach when choosing design parameters of the system “traction converter - the asynchronous traction motor - reducer”, corresponding to the minimum total power consumption of the mobile unit in the specified operating conditions.

**Keywords:** electrically propelled vehicle, electric train, asynchronous traction drive, power consumption.

DOI:10.20291/2311-164X-2016-3-36-38

#### Авторы Authors

*Алексей Владимирович Владыкин, аспирант Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: alecs.usurt@mail.ru | Николай Олегович Фролов, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Электрическая тяга» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: nfrolov@usurt.ru*

*Alexey Vladimirovitch Vladykin, graduate student of the Ural State University of Railway Engineering (USURT), Ekaterinburg; e-mail: alecs.usurt@mail.ru | Nikolay Olegovitch Frolov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Department “Electric Traction”, Ural State University of Railway Engineering (USURT), Ekaterinburg; e-mail: nfrolov@usurt.ru*

Параметры энергопотребления постепенно выходят на передний план в условиях устойчивого тренда к разработке новых типов приводов, позволяющих снизить издержки производства потребителя и повысить привлекательность продукта производителя [1]. Снижение удельного расхода электроэнергии на тягу поезда, как известно, связано с решением трех проблем, актуальность которых высока и по сегодняшний день:

- а) снижение расхода электроэнергии непосредственно на тягу;
- б) снижение уровня потерь в подвижной единице;
- в) эффективное использование кинетической энергии [2].

На основании анализа данных и выполненных расчетов среднее потребление электроэнергии тяговым приводом электропоезда метрополитена составляет около 2/3 от общего потребления энергии без учета рекуперации и зависит от выбранного машинистом способа ведения поезда. Потребление на вспомогательные нужды при этом составляет оставшуюся часть. Указанные параметры непременно заставляют задуматься о более детальном анализе эффективного энергопотребления тяговым приводом с целью определения наилучшего состояния с точки зрения энергоэффективности подвижной единицы.

Низкие параметры энергопотребления могут быть достигнуты с помощью поиска качественной функции и последующей ее минимизации (или максимизации) [5]. Функция качества, представляющая собой совокупность параметров нескольких компонентов привода, связывает величины нескольких отдельных систем, таких как преобразователь, двигатель и редуктор.

$$Q = f(a, b, c \dots x), \quad (1)$$

где  $a, b, c \dots x$  — критерии поиска.

Последующая дифференциация и поиск экстремумов функции позволяют определить точное решение задачи поиска оптимального энергопотребления. Построение функции качества в реальности зависит от области применения и условий работы привода. Наиболее точное с точки зрения оптимизации решение может быть найдено в случае полной автоматизации работы системы, но для тягового подвижного состава этот способ на сегодняшний день не является популярным ввиду высокой стоимости системы управления и безопасности, хотя и возможным, поскольку существуют полностью автоматизированные линии метрополитена.

При решении задачи оптимизации для конкретного компонента электропоезда (например, такого как двигатель, либо преобразователь, либо редуктор) нужно брать во внимание возможное несоответствие с решением оптимальной задачи всей системы, для чего комплексность подхода должна присутствовать.

В общем случае процесс оптимизации может быть разделен на три основных этапа, где первым будет ис-

следование рынка, под которым понимаются действующие или проектируемые участки путей общего пользования. Исследование рынка может быть предпочтительным началом процесса оптимизации всей подвижной единицы и позволит получить более точную оценку энергопотребления. Расчет общих параметров энергопотребления поезда начинается с тяговых расчетов. Учет пассажиропотока и напряженности движения по направлениям дает возможность исходя из закладываемой мощности оценить количество приводов, необходимых для приведения в движение поезда с заданным ускорением, что в конечном итоге позволяет оптимизировать работу высшего уровня системы управления поездом и определить исходные данные для следующего этапа поиска оптимального решения.

Тяговые расчеты, выполненные для некольцевой линии метрополитена, позволяют сделать вывод о наличии связи между энергопотреблением и максимальной величиной средней участковой скорости в результате изменения таких параметров, как пассажиропоток и замедление на протяжении всего участка [1]. Полученная максимальная величина средней участковой скорости электропоезда должна стать фундаментальным знанием в последующем уточнении номинальной скорости вращения используемого тягового двигателя.

Иным образом, использование универсального привода заставляет проектировщиков закладывать большие «запасы» контролируемых энергетических и механических параметров, приводя к завышению первоначальной стоимости и фактическому недоиспользованию продукта.

Последующим этапом для решения функции качества рассматриваемого тягового привода является поиск путей оптимизации, которыми могут послужить:

- оптимизация работы преобразователя;
- оптимизация работы тягового двигателя;
- оптимизация работы преобразователя и двигателя;
- оптимизация работы редуктора.

Решение каждой из задач непременно производится по критерию, напрямую связанному с поставленной целью, заключающейся в минимизации энергетических параметров потребления или максимизации параметров производительности. Примерами такого критерия оптимизации могут послужить:

- минимум потребляемого тока статора;
- минимум потерь;
- минимум уровня шума и вибрации;
- максимум реализуемой мощности [3];
- минимум габарита [5].

Выбор способа управления асинхронным тяговым двигателем влияет на параметр энергопотребления в предельных режимах работы машины. Так, на рис. 1 представлены характеристики двигателя при разных способах управления в относительных единицах [4].

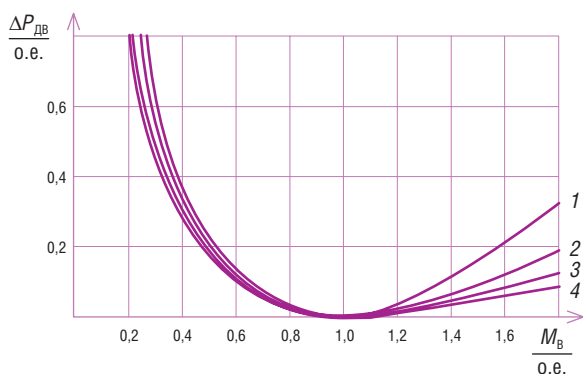


Рис. 1. Мощность потерь асинхронного двигателя от величины вращающего момента при различных способах управления: 1 — пропорциональное управление; 2 — управление при постоянстве полного потокосцепления обмотки статора; 3 — управление при постоянстве главного потокосцепления машины; 4 — управление при постоянстве полного потокосцепления обмотки ротора

Расположение характеристик на графике заставляет обратить внимание на рациональный выбор номинального режима работы привода, величина которого может быть определена по методике, приведенной в [1]. Определение средневзвешенной максимальной скорости на выбранном участке позволяет определить частые режимы работы привода и сместить область активной работы на участок с минимальными потерями.

Минимизация мощности двигателя и снижение его габаритов путем оптимального выбора передаточного соотношения редуктора позволяет добиться снижения стоимости всей системы, поскольку одновременно снижается потребляемая электрическая мощность. **ИТ**

### Список литературы

1. Владыкин А. В., Фролов Н. О. К вопросу снижения энергопотребления тяговым приводом электропоезда метрополитена // Транспорт Урала. — 2016. — № 3 (50).
2. Розенфельд В. Е., Исаев И. П., Сидоров Н. Н. Теория электрической тяги. — М. : Транспорт, 1983. — 328 с.
3. Шрейнер Р. Т., Дмитренко Ю. А. Оптимальное частотное управление асинхронными электроприводами. — Кишинев : Штиинца, 1982. — 220 с.
4. Браславский И. Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод. — М. : Издательский центр «Академия», 2004. — 256 с.
5. Исаев И. Н., Созонов В. Г. Электропривод механизмов циклического действия. — М. : Энергоатомиздат, 1994. — 144 с.





Саидбурхан  
Тулаганович  
Джаббаров  
Saidburkhan  
T. Djabbarov



Махамаджан  
Мирахмедов  
Makhmadjan  
Mirakhmedov



Батиржан  
Мардонов  
Batirjan  
Mardonov

## К вопросу безопасности пассажира на высокой железнодорожной платформе при прохождении высокоскоростного поезда

### On the question of the safety of the passenger on a high railway platform when high-speed train is passing by

#### Аннотация

В статье приведены результаты теоретических исследований по моделированию движения высокоскоростного поезда, установлению распределения зоны скоростей и аэродинамического давления для определения минимально допустимого расстояния нахождения пассажира на высокой железнодорожной платформе при прохождении высокоскоростного поезда.

**Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, движение высокоскоростных поездов, аэродинамика, воздушный поток, поля скоростей, аэродинамическое давление, зона безопасности.

#### Abstract

The article presents the results of theoretical research on modeling the movement of high-speed trains, the establishment of the zone and the velocity distribution of the aerodynamic pressure to determine the minimum distance to passengers on high railway platform during the passage of high-speed trains.

**Key words:** railway transport, high-speed trains traffic, aerodynamics, air flow, velocity field, aerodynamic pressure, safety zone.

DOI:10.20291/2311-164X-2016-3-39-44

#### Авторы Authors

Саидбурхан Тулаганович Джаббаров, канд. техн. наук, и. о. профессора кафедры Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта (ТашИИТ), Ташкент, Республика Узбекистан | Махамаджан Мирахмедов, д-р техн. наук, профессор кафедры Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта (ТашИИТ), Ташкент, Республика Узбекистан | Батиржан Мардонов, д-р физ.-мат. наук, профессор Ташкентского института легкой и текстильной промышленности, Ташкент, Республика Узбекистан

Saidburkhan Tulaganovich Djabbarov, Candidate of Technical Sciences, Professor of the Tashkent Institute of Railway Transport Engineers (Tashiit), Tashkent, Uzbekistan | Makhmadjan Mirakhmedov, Dr. Sc., Professor of Tashkent Institute of Railway Transport Engineers (Tashiit), Tashkent, Uzbekistan | Batirjan Mardonovich Mardonov, Dr. Sci. Sciences, Professor, Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Tashkent, Uzbekistan

Обеспечение безопасности пассажиров, находящихся на платформе, и работников железной дороги в непосредственной близости от проходящего высокоскоростного поезда является актуальной задачей. Это связано с изменением аэродинамического поля, возникающим из-за вовлечения в движение воздушной массы, скорость и создаваемое давление которой зависят от скорости и геометрии высокоскоростного поезда, присутствия окружающих объектов инфраструктуры железной дороги.

Сила воздействия на человека и объекты инфраструктуры зависит не только от максимальной скорости воздушного потока, но и от его продолжительности, места расположения объектов относительно движущегося поезда. Поэтому исследование аэродинамических особенностей воздушных потоков, возникающих при движении скоростного и высокоскоростного поезда, и их воздействия на людей и объекты инфраструктуры железной дороги следует рассматривать как один из основных критериев безопасности. Дело в том, что значительное увеличение скорости движения пассажирских поездов в начале XXI в. сопровождалось изменением физики воздушных потоков вокруг скоростных поездов. Движение высокоскоростных поездов имеет свойственные ему особенности, которые не позволяют использовать аэродинамические законы летательных аппаратов. До настоящего времени исследования носили эмпирический характер. В частности, в 80-е годы XX в. учеными Японии, Франции, Германии, США, России и других стран были экспериментально установлены скорости воздушных потоков, значение аэродинамического давления вокруг скоростного поезда, его воздействие на людей, находящихся на пассажирской платформе, и конструкции объектов инфраструктуры железной дороги, однако эти явления изучены недостаточно.

С целью теоретического изучения проблемы воздействия аэродинамического давления на человека, находящегося на высокой пассажирской платформе, принята попытка разработки математической модели со следующими граничными условиями:

- пассажирская платформа «берегового» типа примыкает к пассажирскому зданию;
- край платформы находится на расстоянии  $b_{\min}$  от оси пути;
- высота платформы составляет  $h$ ;
- пассажир находится на платформе шириной  $B_{\min}$  на расстоянии  $b_{1\min}$  от оси пути и расстоянии  $b_{2\min}$  от пассажирского здания;
- расстояние от оси пути до края платформы  $b_{\min}$  и высота платформы  $h$  регламентированы габаритом «С<sub>250</sub>» [7, 8];
- на человека воздействует сила  $F$ , направленная по оси  $x$  и перпендикулярно вертикальной оси человека. Можно предположить, что поскольку поверхность (площадь) человека, находящегося

на платформе, постоянна, то значение силы  $F$  изменяется прямо пропорционально значению аэродинамического давления  $P$ , образуемого при прохождении высокоскоростного поезда.

Также очевидно, что для обеспечения безопасности лица, находящегося на платформе, фактическое давление на него не должно превышать нормативного:

$$P_f \leq P_n, \quad (1)$$

где  $P_f$  — значение фактического (избыточного) давления (воздушного потока) на человека, Па;  $P_n$  — значение допустимого давления, регламентируемое санитарными нормами страны, Па.

Для практических целей важно определить точку  $M$  с координатами  $M(x, y, z)$ , где выполняется условие (1).

Если человек находится на платформе в неподвижном состоянии в некоей точке  $M$ , его координаты можно представить в виде  $M(b_{1\min}, y, z)$ . В данном случае  $x = b_{1\min}$ ,  $y = \text{const}$ ,  $z = \text{const}$  (рис. 1).

Согласно закону Бернулли, аэродинамическое давление является производным от аэродинамического потока:

$$\Delta P = \frac{v^2 \rho}{2}. \quad (2)$$

Отсюда можно определить максимальное значение скорости воздушного потока:

$$v_{\max \text{ доп.}} = \sqrt{\frac{2 \Delta P_n}{\rho}}. \quad (3)$$

Таким образом, решение задачи сводится к определению минимального расстояния  $b_{1\min}$  или точки  $M(b_{1\min}, y, z)$ , где максимальное значение скорости воздушного потока достигает  $v_{\max \text{ доп.}}$  и выполняется условие (1).

Для исследования распределения воздушного потока и определения его скорости вдоль движущегося высокоскоростного поезда представим его в качестве осесимметричного тела с формой головной и хвостовой части в виде оживала, движущегося в сжимаемой (акустической) среде (рис. 2, а). Положение тел в пространстве в произвольном сечении  $z$  представлено на рис. 2, б.

Осесимметричное тело длиной  $L$  движется в сжимаемой среде с постоянной скоростью  $v_0$  и находится на высоте  $h$  от границы полупространства (рис. 2, а), где наибольшее удаление границы тела от продольной оси равно  $R$ . При этом полагаем, что  $R/L \ll 1$ . Для решения задачи введем осесимметричные координаты  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$  и  $z_1$ . Время движения обозначено как  $t$ . Начало координат установлено в среднем сечении тела, ось  $Oz_1$  направлена по оси тела, а ось  $Oy$  перпендикулярна к ней.

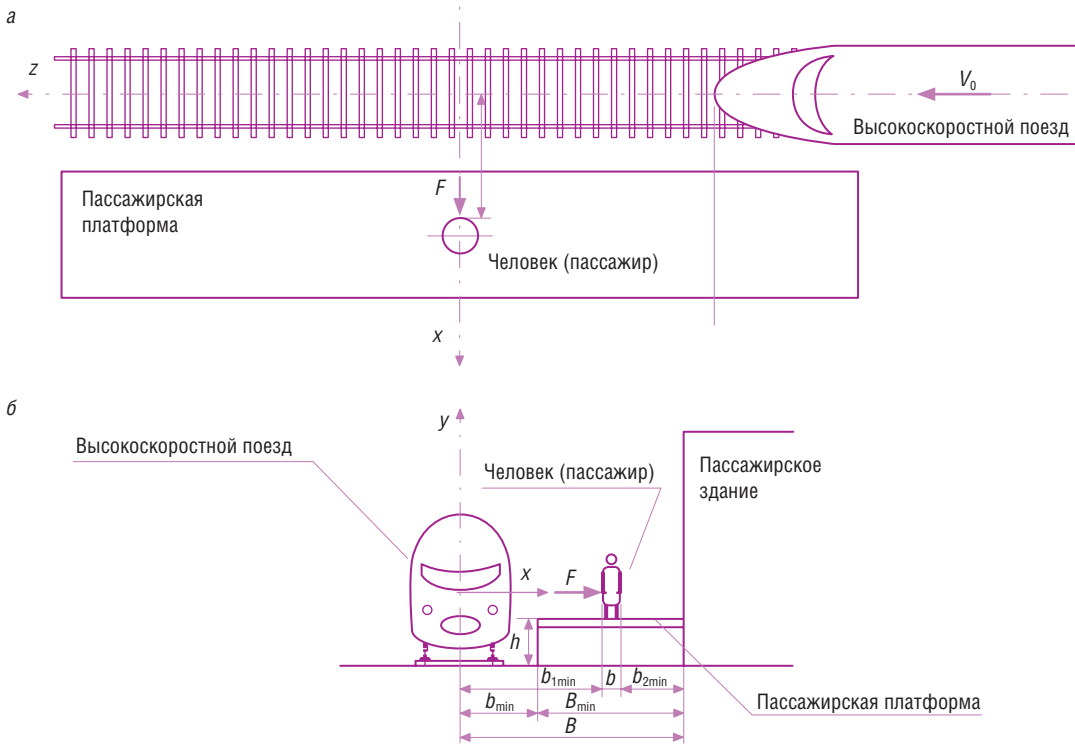


Рис. 1. Схема расположения человека (пассажира) на высокой береговой платформе: а — в плане; б — в поперечном сечении

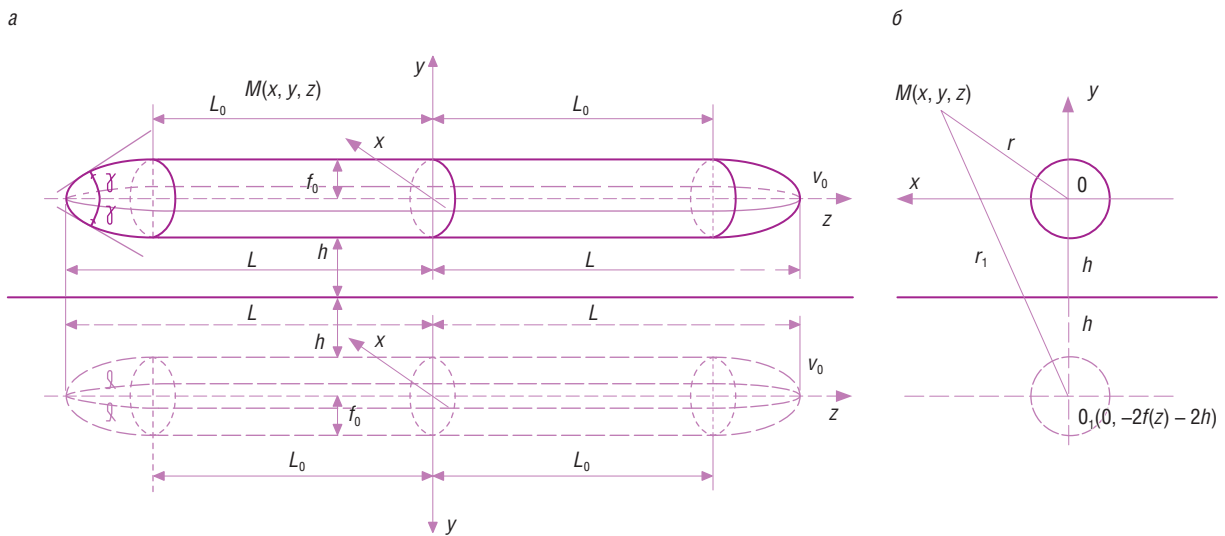


Рис. 2. Схема движения осесимметричного тела в полупространстве (а) и расположения сечений основного и фиктивного тела в плоскости (б)

Составляющие скоростей частиц воздушной среды по осям координат  $Oz$  и  $Or$  можно определить через потенциал скорости  $\phi_1(r, z, t)$  соответственно по формулам:

$$v_z = \frac{\partial \phi_1}{\partial z}, \quad (4)$$

$$v_r = \frac{\partial \phi_1}{\partial r}. \quad (5)$$

Распространение акустической волны в воздушной среде можно представить следующим уравнением:

$$\frac{\partial^2 \phi_1}{\partial t^2} = a^2 \left( \frac{\partial^2 \phi_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \phi_1}{\partial r} + \frac{\partial^2 \phi_1}{\partial z^2} \right), \quad (6)$$

где  $a$  — акустическая скорость звука.

Так как движение тела происходит вдоль оси  $Oz_1$ , вводится подвижная система координат  $z = z_1 - v_0 t$ .

Уравнение (4) можно привести к виду:

$$\alpha^2 \frac{\partial^2 \phi_1}{\partial z^2} - \frac{\partial^2 \phi_1}{\partial r^2} - \frac{1}{r} \frac{\partial \phi_1}{\partial r} = 0, \quad (7)$$

где  $\alpha = \sqrt{1 - M^2}$ ,  $M = v_0/a$  — число Маха.

Движение тела в акустической среде считается дозвуковым, т. е. предполагается, что  $M < 1$ . Тогда уравнение (7) интегрируется при следующих граничных условиях:

1. Безотрывность скольжения частиц воздушной среды по поверхности тела при  $r = f_1(z)$ :

$$v_r = \frac{\partial \phi_1}{\partial r} = v_0 \operatorname{tg} \gamma, \quad (8)$$

где  $\operatorname{tg} \gamma$  — уравнение поверхности тела.

Уравнение поверхности тела выражено через тангенс угла наклона касательной к поверхности движущегося тела (рис. 1), которая может быть определена по формуле  $\operatorname{tg} \gamma = f_1'(z)$ ,  $f_1(z) = f_1(-z)$ .

2. Равенство нулю составляющей по оси  $Oy$  скорости частиц среды на границе полупространства, т. е. при  $y = -h - f_1(z)$ :

$$\frac{\partial \phi_1}{\partial y} = 0. \quad (9)$$

3. Симметрия относительно оси  $Oz$ , т. е. при  $z = 0$ :

$$\phi_1 = 0. \quad (10)$$

Для поиска решения уравнения (7) использован метод источников [5]. Рассматривая функцию  $\phi(r, z)$ , удовлетворяющую уравнению (7) и граничному условию (5), решение можно представить в виде

$$\phi = -\frac{1}{4\pi} \int_{-L}^L \frac{q(\xi) d\xi}{\sqrt{(\xi - z)^2 + \alpha^2 r^2}}, \quad (11)$$

где  $q(z)$  — мощность источника, распределенного по поверхности движущегося тела в пределах  $0 < r < f_1(z)$ ,  $-L < z < L$ .

Для тонкого осесимметричного тела из формулы (11) по [6] можно утверждать, что:

$$\text{при } r \rightarrow 0 \quad \frac{\partial \phi}{\partial r} \rightarrow \frac{q(z)}{2\pi r};$$

$$\text{при } 0 < z < L \quad q(z) = 2\pi v_0 f_1'(z) f_1(z);$$

$$\text{при } -L < z < 0 \quad q(z) = -2\pi v_0 f_1'(-z) f_1(-z).$$

Тогда функция  $\phi(r, z)$  приобретает вид:

$$\phi = -\frac{v_0}{2} \left( \int_{-L}^0 \frac{f_1'(-\xi) f_1(-\xi) d\xi}{\sqrt{(\xi - z)^2 + \alpha^2 r^2}} + \int_0^L \frac{f_1'(\xi) f_1(\xi) d\xi}{\sqrt{(\xi - z)^2 + \alpha^2 r^2}} \right). \quad (12)$$

Учитывая, что  $f_1(-\xi) = f_1(\xi)$ ,  $f_1'(-\xi) = -f_1'(\xi)$  уравнение (9) можно представить в следующем виде:

$$\phi = -\frac{v_0}{2} \left( \int_0^L \frac{f_1'(\xi) f_1(\xi) d\xi}{\sqrt{(\xi + z)^2 + \alpha^2 r^2}} - \int_0^L \frac{f_1'(\xi) f_1(\xi) d\xi}{\sqrt{(\xi - z)^2 + \alpha^2 r^2}} \right). \quad (13)$$

При этом функцию  $\phi(r, z)$  можно представить как

$$\phi_1 = [\phi(z, r) + \phi(z, r_1)] / 2, \quad (14)$$

где  $r_1 = \sqrt{x^2 + [2f_1(z) + 2h + y]^2}$ .

Можно показать, что представленная формулой (14) функция  $\phi_1(r, z)$  удовлетворяет всем условиям рассматриваемой задачи.

В качестве примера рассмотрено тело вращения, с формой головной и хвостовой части в виде оживала (рис. 2). Вид движущегося тела в меридиональной плоскости представлен на рис. 3.

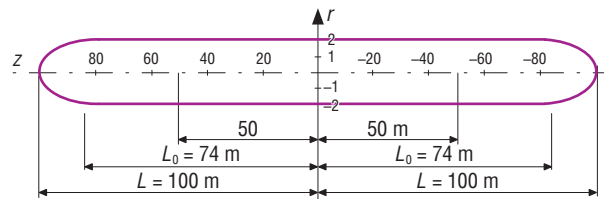


Рис. 3. Вид и размеры тела в меридиональной плоскости

Принятые размеры тела равны следующим значениям:

- расстояние от середины движущегося тела до его крайних точек по оси  $Oz$   $L$ ;
- расстояние от середины движущегося тела до начальной точки изменения формы (очертания) головных частей движущегося тела  $L_0$ ;
- поперечное сечение движущегося тела рассмотрено в качестве круга радиусом 2 м.

При форме головной и хвостовой части в виде оживала функции  $f_1(z)$  и  $f_1'(z)$  представляются в следующем виде:

$$\text{при } -L \leq z \leq -L_0, \quad f_1 = R[1 - (z + L_0)^2 / (L - L_0)^2],$$

$$f_1' = -2R(z + L_0) / (L - L_0)^2;$$

$$\text{при } -L_0 \leq z \leq L_0, \quad f_1 = R, \quad f_1' = 0;$$

при  $L_0 \leq z \leq L$ ,  $f_1 = R[1 - (z - L_0)^2 / (L - L_0)^2]$ ,

$$f_1' = -2R(z - L_0) / (L - L_0)^2.$$

Движение тела в меридиональной плоскости рассмотрено для его состояний, иллюстрированных графически на рис. 4.

В расчетах скорость движения тела (скоростного поезда) вдоль пассажирской платформы принята равной 200 км/ч. По формуле (13) определена абсолютная скорость воздушного потока, образуемого движением тела для точек, находящихся на расстоянии 4, 6, 8 и 10 м от оси движущегося тела. По результатам расчетов с использованием информационных технологий построены графики изменения в акустической среде скорости воздушного потока вдоль движущегося тела на различном расстоянии от него (рис. 5).

Анализ построенных графиков показывает, что общая физика воздушных потоков вдоль движущегося тела на различных расстояниях от него идентична. Симметричность всех графиков объясняется тем, что при моделировании движения рассматривалось осесимметричное тело с одинаковой формой головной и хвостовой части.

С приближением движущегося тела происходит незначительное возмущение воздушной среды (рис. 4, а). Локальный максимум скорости воздушного потока достигается, когда начало движущегося тела находится напротив точки  $M$  (рис. 4, б), и резко уменьшается, как только головная часть тела проходит точку  $M$  (рис. 4, в). А когда с ней сравнивается середина движущегося тела (рис. 4, г), вектор скорости резко меняется в обратную сторону, и скорость воздушного потока начинает стремительно возрастать (рис. 4, д), достигая второго максимума (рис. 5), когда конец движущегося тела находится напротив точки  $M$  (рис. 4, е) с дальнейшим затуханием (рис. 4, ж).

По результатам расчетов также построен график зависимости максимальной скорости воздушного потока от удаленности рассматриваемой точки наблюдения (рис. 6).

Полученные графики позволяют установить:

- минимальное расстояние  $b_{1min}$ , где максимальное значение скорости воздушного потока равно  $V_{maxдоп}$ ;
- минимальную ширину пассажирской платформы  $B_{min}$  на участках обращения высокоскоростных поездов;
- максимальную скорость прохождения высокоскоростных пассажирских поездов на станции (разъезде) вдоль высокой пассажирской платформы с известной шириной.

При этом во всех случаях выполняется поставленная задачей условие (1).

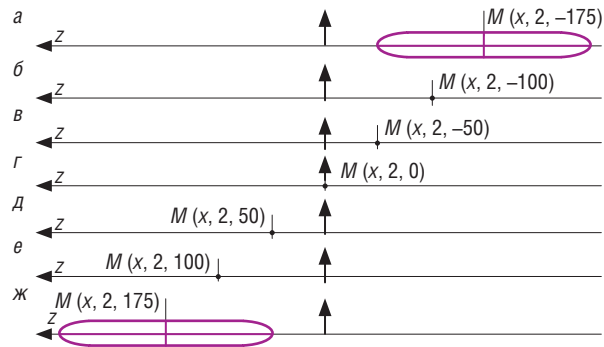


Рис. 4. Расположение движущегося тела в меридиональной плоскости

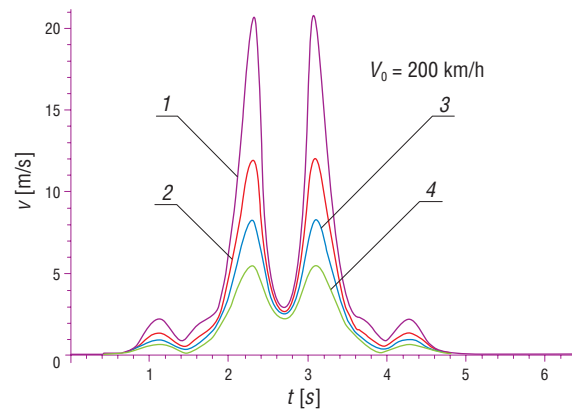


Рис. 5. Графики изменения скорости воздушного потока вдоль движущегося тела на различных расстояниях: 1 — 3,55 м; 2 — 6,0 м; 3 — 8,0 м; 4 — 10,0 м

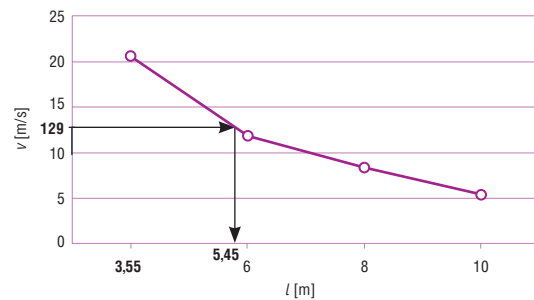


Рис. 6. График зависимости максимальной скорости воздушного потока от удаленности рассматриваемой точки наблюдения

Допустим, что максимально допустимое значение давления, регламентируемое санитарными нормами, равно  $P_n = 100$  Па. По формуле (3) установлено значение максимальной скорости воздушного потока  $v_{maxдоп}$ , равное 12,9 м/с. Этому значению скорости соответствует расстояние 5,45 м (рис. 6). Максимальное давление на человека, находящегося в стационарном состоянии (стоящего неподвижно) на расстоянии  $b_{1min} \geq 5,45$  м от оси движущегося тела со скоростью 200 км/ч, составит не более 100 Па, что соответствует санитарным нормам. **ИТ**

### Список литературы

1. Derkowski P., Clark S., Sturt R. Aerodynamic effects of high speed trains on passengers, track workers, and other people. — Arema, 2014.
2. Harvey Shui-Hong Lee. The Aerodynamic Effects of Passing Trains to Surrounding Objects and People. Final Report, April 2009. DOT-VNTSC-FRA-04-05. U. S. Department of Transportation Research and Special Programs Administration John A. Volpe National Transportation Systems Center.
3. Лазаренко Ю. М. Аэродинамическое воздействие высокоскоростного электропоезда «Сапсан» на пассажиров на платформах и на встречные поезда при скрещении / Ю. М. Лазаренко, А. Н. Капускин // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. — 2012. — № 4. — С. 11–14.
4. Джаббаров С. Т. Движение тонкого осесимметричного тела в полупространстве, занятом сжимаемым газом // Проблемы механики. — Ташкент, 2016. — № 1. — С. 12–17.
5. Ламб Г. Гидродинамика. — М.: ОГИЗ, 1947. — 929 с.
6. Сагомоян А. Я. Проникание. — М., 1974. — 299 с.
7. ВСН 448-Н. Инфраструктура скоростной железнодорожной линии Ташкент — Самарканд. Общие технические требования. — Ташкент, 2010.
8. ВСН 333-Н. Инфраструктура скоростной железнодорожной линии Самарканд — Карши. Общие технические требования. — Ташкент, 2015.

УДК 621.313.13



Николай Федорович  
Карнаухов  
Nikolai F. Karnaukhov



Дмитрий Александрович  
Статовой  
Dmitry A. Statovoy

## Формирование электромагнитного момента вентильно-индукторного двигателя при управляемом токе размагничивания зубцов статора

### Formation of the electromagnetic torque of the engine valve-inductor with the controlled current of the demagnetization of the stator teeth

#### Аннотация

В статье показана возможность формирования электромагнитного момента на валу вентильно-индукторного двигателя (ВИД) мехатронной системы (МС) с учетом характеристик намагничивания магнитопровода статора. Магнитное состояние зубцов (рабочей) зоны статора предложено изменять посредством программного регулирования амплитуды размагничивающего тока обмотки статора ВИД в зависимости от угла поворота ротора. Предварительное размагничивание зубца статора (в режиме частного гистерезисного цикла) позволяет определить начальное значение магнитной индукции в условиях регулирования амплитуд однополярных и разнополярных токов в фазе, а также изменять остаточную намагниченность ферромагнетика и влиять на величину пульсаций электромагнитного момента ВИД. В результате теоретических и экспериментальных исследований подтверждена возможность повышения средней частоты вращения вала ВИД, а также снижение среднеквадратичного отклонения частоты от программируемого значения, что важно для режима формирования «малой и ползучей скорости» и равномерности движения исполнительного механизма технологической машины, рабочего органа мехатронной системы.

**Ключевые слова:** пульсации электромагнитного момента, программно-управляемое перемагничивание зубцов статора, конечно-элементное моделирование, остаточная индукция магнитопровода, фронт импульса, угол положения ротора, зона малой скорости.

DOI:10.20291/2311-164X-2016-3-45-48

#### Авторы Authors

*Николай Федорович Карнаухов, канд. техн. наук, профессор кафедры «Робототехника и мехатроника» Донского государственного технического университета (ДГТУ), Ростов-на-Дону; e-mail: Nika811@bk.ru | Дмитрий Александрович Статовой, аспирант кафедры «Робототехника и мехатроника» Донского государственного технического университета (ДГТУ), Ростов-на-Дону; e-mail: Dr-monro@mail.ru*

*Nikolai Fedorovitch Karnaukhov, Candidate of Technical Sciences, professor of "Robotics and Mechatronics" department of Don State Technical University (DSTU), Rostov-on-Don; e-mail: Nika811@bk.ru | Dmitry Aleksandrovitch Statovoy, Don State Technical University (DSTU), Rostov-on-Don; e-mail: Dr-monro@mail.ru*

#### Abstract

The article shows the possibility of the formation of the electromagnetic torque on the shaft of the switched reluctance motor of a mechatronic system (MS) taking into account the characteristics of the magnetization of the stator magnetic circuit. It is offered to change the magnetic state of the teeth of the (operating) stator zone using the software control the amplitude of the demagnetization current of the stator winding of the switched reluctance motor depending on the angle of rotation of the rotor. Pre-demagnetization of the stator teeth (in the private hysteresis loop mode) allows to determine the initial value of the magnetic induction under control of the amplitudes of unipolar and bipolar currents in phase, as well as change the residual magnetization of a ferromagnet and affect the value of the electromagnetic torque ripple of a reluctance switched motor. Theoretical and experimental studies confirmed the possibility of increasing the average speed of the shaft of a reluctance switched motor, and also a reduction in the standard deviation of the frequency of the programmable values that are important to the mode of formation of "slow and creeping speed" and uniformity of movement of the actuator of technology machines of a working body of MS.

**Keywords:** pulsation of the electromagnetic torque, software-controlled reversal of the stator teeth magnetization, finite element modeling, residual induction of the magnetic circuit, impulse front, the position angle of the rotor, low speed zone.

## Введение

Применение вентильно-индукторных двигателей (ВИД) в приводах технологических машин (ТМ) и модулях робототехнических систем (РТС), несмотря на их простоту, дешевизну, высокое отношение формируемого момента к массе и возможность работы в экстремальных условиях, несколько сдерживается из-за ряда факторов, обусловленных сложными зависимостями формирования вращающего момента на валу от ряда параметров: формы тока, магнитного потока, значения воздушного зазора, степени насыщения зубцов статора и ротора [1, 2, 3]. Негативное влияние указанных факторов обычно сопровождается повышенными пульсациями электромагнитного момента ( $T_e$ ), вибрацией двигателя и достаточно высоким уровнем акустического шума [4], что снижает сферу применения ВИД в электроприводах ТМ и РТС (особенно для зон пониженных скоростей движения ИМ, РО). Улучшить технические характеристики ВИД — актуальная задача, решаемая отечественными [1–3] и зарубежными исследователями [4–8]. В данной статье авторы предлагают решение по снижению пульсаций ( $T_e$ ) ВИД, повышению равномерности движения ИМ ТМ (МС) посредством предварительного программно-управляемого перемагничивания ферромагнетика зубцовой (рабочей) зоны статора в пределах частного гистерезисного цикла.

## Цели исследования:

1. Поиск решения по управлению ВИД, позволяющего уменьшить уровни пульсаций электромагнитного момента ( $T_e$ ) в зоне малой скорости движения ИМ ТМ (МС).
2. Реализация предложенного решения по управлению ВИД в сопоставлении с известными методами, основанными на программном регулировании углов управления (открытия и закрытия) ключевых элементов полупроводникового преобразователя, при формировании тока в обмотках ВИД в зависимости от положения ротора.

## Решение задачи

В общем случае математическую модель привода ТМ на базе ВИД можно представить следующими уравнениями [5]:

$$\varphi_j = L_j(i_j, \varphi) \cdot i_j, \quad (1)$$

где  $\varphi_j$  — потокосцепление фазы  $j^{th}$ ;  $L_j$  — индуктивность фазы  $j^{th}$ ;  $i_j$  — ток фазы  $j^{th}$ ;

$$\begin{aligned} V_j &= R_j i_j + \frac{d\varphi_j(i_j, \varphi)}{dt} = R_j i_j + \frac{\partial \varphi_j}{\partial i_j} \cdot \frac{di_j}{dt} + \frac{\partial \varphi_j}{\partial \theta} \cdot \frac{d\theta}{dt} = \\ &= R_j i_j + L_j \cdot \frac{di_j}{dt} + \frac{\partial \varphi_j}{\partial \theta} \cdot \omega, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $V_j$  — напряжение на фазе  $j^{th}$ ;  $R_j$  — сопротивление фазы  $j^{th}$ ;  $t$  — время.

Для электромагнитного момента  $T_e$  можно записать соотношение:

$$T_e = \sum_{j=1}^n T_j, \quad (3)$$

где  $n$  — количество фаз,  $T_j$  — момент  $j^{th}$  фазы:

$$T_j = \left[ \frac{\partial W_c(\theta, i_j, l_g, L_r)}{\partial \varphi} \right]_{i_j = \text{const}}, \quad (4)$$

где  $W_c$  — коэнергия [X], равная:

$$W_c(\theta, i_j, l_g, L_r) = \int_0^{i_j} \varphi(\theta, i, l_g, L_r) di, \quad (5)$$

где  $\theta$  — положение ротора,  $l_g$  — ширина воздушного зазора;  $L_r$  — длина стержня ротора.

В связи с нелинейностью ряда компонентов уравнений (1)–(5) моделирование ВИД выполняется в системах конечно-элементного моделирования в программном пакете типа FEMM. В результате моделирования можно получить зависимости изменения  $T_e$  от тока и угла поворота ротора относительно статора, как показано на рис. 1 и 2.

Анализ полученных зависимостей позволяет изменить известные решения по формированию результирующего момента  $T_e$  и изложить их в выводах:

- для создания момента  $T_e$  с пониженным коэффициентом пульсаций целесообразно использовать включение 2–3 обмоток статора с программным (временным) разделением их работы по углу поворота ротора;
- формирование отрицательного момента зубца ротора можно значительно уменьшить при ускорении спада заднего фронта импульса рабочего тока в обмотке фазы статора ВИД, что обеспечивается включением управляемого дополнительно перемагничивания зубца статора по частному гистерезисному циклу.

Реализовать такие изменения в зависимостях (рис. 2) предлагается путем смещения ряда точек  $B_{ri}$  остаточной индукции магнитопровода (стали зубца статора), например:  $B_{ri}$  по нисходящей ветви 2 в точку  $B_{r2}$  с последующим размагничиванием (рис. 3) стали зубца до точки



$B_{r1}$  (при напряженности магнитного поля  $H = 0$ ), а при дальнейшем увеличении рабочего (намагничивающего) тока фазной обмотки увеличить значение  $B$  до точки  $B_1$  (на восходящей кривой намагничивания 1). При этом соотношение приращений  $\Delta B = \Delta B_1 - \Delta B_2$  можно изменять в зависимости от примененной стали и соотношения токов намагничивания и размагничивания в фазах статора. Известно [2], что замена горячекатаной изотропной электротехнической стали (1212 (Э12), 1312 (Э22), 1412 (Э32) по ГОСТ 21427.3) при производстве ВИД холоднокатаной изотропной электротехнической сталью (2011, 2312, 2411, а также 2211, 2212, 2311, 2412 по ГОСТ 21427.2–83) с высокой магнитной проницаемостью, пониженных удельных потерях при перемагничивании, малой разнотолщинности и разнотолщинности структуры требует соответствующей коррекции расчетных параметров, в частности, повышаются магнитные нагрузки по напряженности ( $H$ , А/см) в 1,5–2 раза.

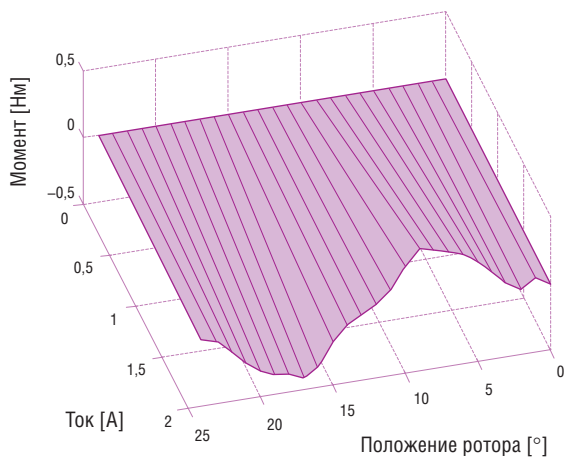


Рис. 1. Функция момента от угла поворота ротора и тока фазы в 1 обмотке для ВИД конфигурации 14/12

Для регулирования уровня остаточной намагниченности зубца статора, что влияет на приращение коэнергии при повторном импульсе тока в фазе ВИД, предлагается ввести для каждой обмотки силовой преобразователь (типа H-мост, рис. 4), позволяющий реализовать программное намагничивание и перемагничивание стали зубца статора при работе ключей VT1–VT4 преобразователя по разработанному алгоритму. Рабочий ток (намагничивания) создается при включении IGBT-транзисторов VT1, VT4, а ток размагничивания — при включении VT2, VT3. При этом по фазной обмотке W1 может протекать регулируемый однополярный или разнополярный ток и создавать расчетный электромагнитный момент  $T_e$  необходимых параметров.

Достоинством данного метода является управляемая крутизна спада тока в фазной обмотке ВИД и возможность программного осуществления предварительного намагничивания или размагничивания ферромагнетика зубца статора в зависимости от угла поворота ротора.

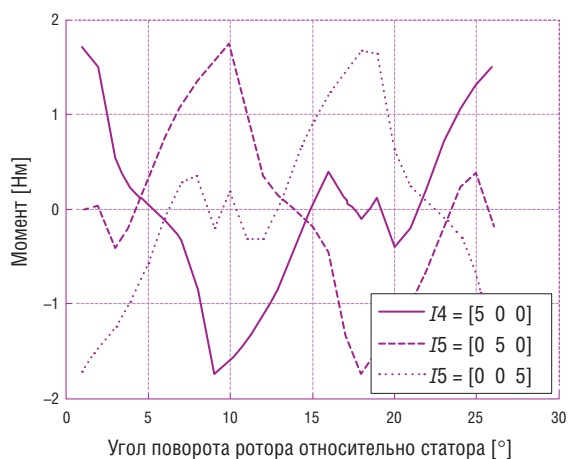


Рис. 2. Функция момента в каждой фазе от положения ротора для ВИД конфигурации 14/12

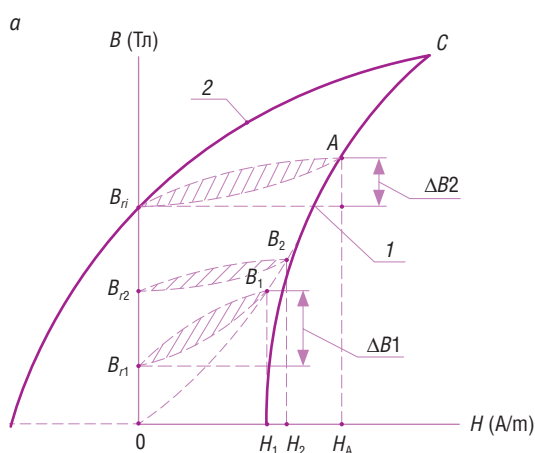
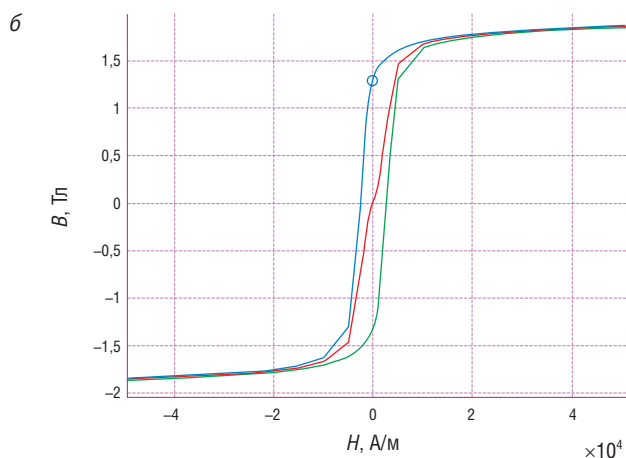


Рис. 3. Цикл перемагничивания стали зубца статора в условиях однополярных (а) и разнополярных (б) импульсов фазных токов



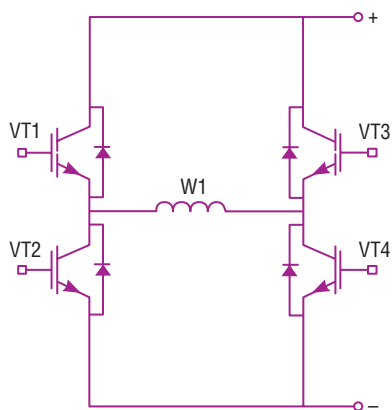


Рис. 4. Схема силового преобразователя для формирования разнополярных токов в фазной обмотке ВИД

В результате выполненных исследований на экспериментальном стенде (AIP80 A4 с конфигурацией статора/ротора — 14/12) были получены искомые зависимости (рис. 5, 6) формирования частоты вращения ВИД (при программировании следующих параметров):

1. Угол открытия — 5,9760 град, угол закрытия — 11,9880 град.
2. Угол перемагничивания — 0,108 град, угловая задержка перед перемагничиванием — 0,108 град.

Анализ полученных зависимостей показывает, что для условий первого эксперимента среднее значение скорости составляет 0,6 об/с, дисперсия 0,1224, а для второго — среднее значение 0,8671 об/с, дисперсия 0,0204.

## Выводы

Анализ выполненных исследований позволяет заключить:

1. Введение предварительного перемагничивания зубцов статора позволяет уменьшить отрицательную составляющую электромагнитного момента в диапазоне от 12,27 до 25,4 электрических градусов угла поворота ротора при конфигурации ВИД 14/12.

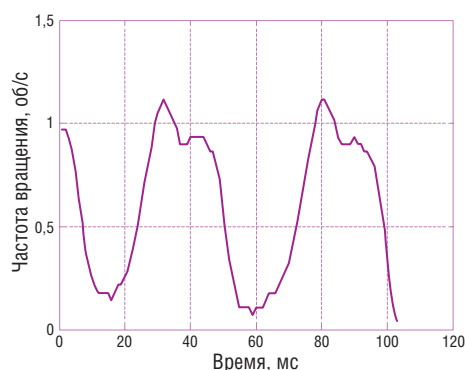


Рис. 5. Скорость вращения вала ВИД без перемагничивания

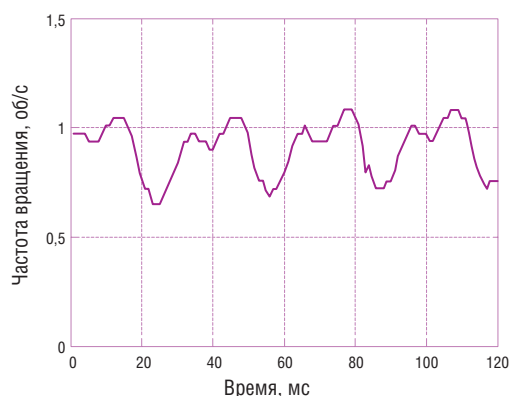


Рис. 6. Скорость вращения вала ВИД с перемагничиванием

2. Снижение отрицательной составляющей сопровождается увеличением положительного вращающего момента, что ведет к повышению среднего значения момента вращения вала двигателя и частоты за один оборот вала.

3. Введение предварительного перемагничивания зубцов статора ВИД позволяет увеличить коэнергию магнитной системы, повысить эффективность использования магнитопровода статора, а также уменьшить пульсации выходного момента ВИД при увеличении средней частоты вращения вала. **ИТ**

## Список литературы

1. Карнаухов Н. Ф., Дзаян Г. В., Русин Н. В. Математическая модель вентильно-реактивного двигателя мехатронной системы при одноимпульсном питании // Математические методы в технике и технологиях — ММТТ-21: сб. тр. XXI Междунар. науч. конф., 27–30 мая / СГТУ. — Саратов, 2008. — Т. 7, секц. 9,14.
2. Электромеханические и мехатронные системы / Н. Ф. Карнаухов. — Ростов-н/Д: Феникс, 2006. — 320 с.
3. Петрушин А. Д., Ильясова Е. Е. Оценка влияния неравномерности воздушного зазора на величину сил одностороннего притяжения ротора к статору вентильно-индукторной электрической машины // Вестник ВЭЛНИИ. — 2011. — Т. 2 (62). — С. 84–93. — ISSN 1816–1928.
4. Dowlatshahi M. et al. Minimization of Torque-Ripple in Switched Reluctance Motors Over Wide Speed Range // J. Electr. Eng. Technol. — 2014. — Vol. 9, № 2. — P. 478–488.
5. Bae H. — K., Krishnan R. A novel approach to control of switched reluctance motors considering mutual inductance // Industrial Electronics Society, 2000 / IECON 2000. 26th Annual Conference of the IEEE. — 2000. — Vol. 1. — P. 369–374.
6. Baumann W. T. Control of Pseudo-Sinusoidal Switched Reluctance Motor with Zero Torque Ripple and Damped Input Current Ripple Control of Pseudo-Sinusoidal Switched Reluctance Motor with Zero Torque. — 2013. — P. 3770–3775.
7. Castro Soriano J., Andrada Gascon P., Blanqué Molina B. Minimization of torque ripple in switched reluctance motor drives using an enhanced direct instantaneous control // Int. Conf. Electr. Mach. — 2012. — P. 1021–1026.
8. Divandari M., Dadpour A. Radial force and torque ripple optimization for acoustic noise reduction of SRM drives via fuzzy logic control // 2010 9th IEEE/IAS Int. Conf. Ind. Appl. INDUSCON 2010. — 2010. — P. 1–6.



Анатолий Александрович  
Пышкин

Anatoliy A. Pyshkin

## Оценка пропускной способности участка с учетом режима напряжения в тяговой сети постоянного тока

### Capacity plot evaluation based on voltage mode in DC traction network

#### Аннотация

Определение режима напряжения в тяговой сети и учет влияния его на работу электроподвижного состава и, как следствие, на пропускную способность участка является одной из важных задач при эксплуатации электрифицированных железных дорог. От режима напряжения зависят такие важнейшие параметры, как скорость движения поезда и пропускная способность, толчки тока и тягового усилия электровоза, возможность преодоления инерционных подъемов, нагрузка и работа отдельных устройств электроснабжения и др. В статье приводится методика определения расхода электроэнергии на движение поездов с минимальным межпоездным интервалом, даны рекомендации по повышению качества напряжения в тяговой сети.

**Ключевые слова:** тяговая сеть, постоянный ток, уровень напряжения, лимитирующий перегон, межпоездной интервал.

#### Abstract

Determination of traction network voltage mode and accounting of its influence on the work of electric rolling stock and, as a result, the throughput of the plot is one of the important tasks in the operation of electrified railways. Voltage mode influences such important parameters as the train speed and bandwidth, the current shocks and traction electric locomotive, the ability to overcome the inertia of lifts, load and operation of the individual device power supply, etc. The article provides a method of determining the power consumption for the train traffic with a minimum intervals between trains and recommendations for improving the quality of voltage in the traction network.

**Keywords:** power train, direct current voltage level, the limiting stage, interval between trains.

DOI:10.20291/2311-164X-2016-3-49-52

#### Авторы Authors

*Анатолий Александрович Пышкин, канд. техн. наук, профессор кафедры «Электроснабжение транспорта» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург*

*Anatoly Aleksandrovitch Pyshkin, Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department "Electrical Transport", Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg*

При проектировании и эксплуатации средний уровень напряжения на токоприемнике электровоза оценивается за время хода по условному ограничивающему (лимитирующему) перегону и наиболее тяжелому блок-участку по потреблению электрической энергии на лимитирующем перегоне.

Под условным лимитирующим перегонем понимают совокупность трех блок-участков, где наблюдается наименьший уровень напряжения в тяговой сети и в наибольшей степени на рассматриваемой фидерной зоне ограничивается скорость движения поездов. Такой перегон при одностороннем питании располагается в конце фидерной зоны, при двустороннем питании — при раздельной и параллельной схемах вблизи расположения поста секционирования. Безусловно, потребление энергии на таком перегоне должно быть наибольшим при движении поездов под током на автоматической характеристике, т. е. при параллельном соединении тяговых двигателей. Если же в середине фидерной зоны для обоих путей ток поезда невелик, то условный перегон необходимо сдвигать в сторону больших токов.

Пропускная способность двухпутного участка с учетом режима напряжения в тяговой сети на лимитирующем перегоне равна [1]:

$$N_{\text{од}} = \frac{(1440 - t_{\text{техн}}) \cdot \alpha_{\text{н}}}{\theta_{\text{минд}}}, \quad (1)$$

где  $\theta_{\text{минд}}$  — действительное значение минимального межпоездного интервала при движении по условному ограничивающему перегону, определенное на основе фактического напряжения на токоприемнике электровоза;  $t_{\text{техн}}$  — продолжительность технологического окна для текущего содержания и ремонта пути, контактной сети и СЦБ, обычно принимают равным 120 мин;  $\alpha_{\text{н}}$  — коэффициент надежности работы технических средств (локомотивов, вагонов, пути, контактной сети, СЦБ и др.),  $\alpha_{\text{н}} = 0,94$ .

Величина  $N_{\text{од}}$  должна обеспечивать заданные размеры движения, т. е. должно выполняться условие [1]:

$$N_{\text{гр}} + \varepsilon_{\text{пс}} \cdot N_{\text{сп}} \leq 0,91 \cdot N_{\text{од}}, \quad (2)$$

где  $N_{\text{гр}}$  — суточное число грузовых поездов;  $N_{\text{сп}}$  — суточное число пассажирских поездов;  $\varepsilon_{\text{пс}}$  — коэффициент съема грузовых поездов пассажирскими, для двухпутного участка можно принять равным 1,5  $\Sigma$  1,7.

Значение  $\theta_{\text{мин}}$  может быть найдено из следующего выражения [2]:

$$\theta_{\text{минд}} = (\theta - t_{\text{T}}) + t_{\text{T}} \cdot \frac{U_{\text{н}}}{U_{\text{сп}}}, \quad (3)$$

где  $\theta$  — заданный межпоездной интервал или время хода поезда по условному перегону при номинальном на-

пряжении в контактной сети на токоприемнике электровоза, мин;  $t_{\text{T}}$  — время хода поезда по условному ограничивающему перегону под током, исключая время пуска;  $U_{\text{н}}$  — номинальное напряжение в тяговой сети,  $U_{\text{н}} = 3$  кВ;  $U_{\text{сп}}$  — действительное среднее напряжение на токоприемнике электровоза за время  $t_{\text{T}}$ .

При системе постоянного тока напряжение  $U_{\text{сп}}$  определяется по формуле

$$U_{\text{сп}} = U_0 - \Delta U_{\text{сп т.п.}} - \Delta U_{\text{сп т.с.}}, \quad (4)$$

где  $U_0$  — напряжение холостого хода на шинах постоянного тока подстанции;  $\Delta U_{\text{сп т.п.}}$  — среднее значение потери напряжения до токоприемника электровоза за время  $t_{\text{T}}$ , обусловленное сопротивлением подстанции и внешней частью системы электроснабжения;  $\Delta U_{\text{сп т.с.}}$  — среднее значение потери напряжения до токоприемника электровоза за время хода поезда под током  $t_{\text{T}}$  по условному ограничивающему перегону, обусловленное сопротивлением тяговой сети.

Приведенная формула (4) используется при определении среднего уровня напряжения как на условном ограничивающем перегоне, так и на блок-участке такого перегона.

В выражении (4) [2]:

$$U_0 = \frac{U_{\text{ном}}}{1 - A \left( \frac{U_{\text{кт}} \%}{100} + \frac{n_0 \cdot S_{\text{нт}}}{S_{\text{кз}}} \right)}, \quad (5)$$

где  $U_{\text{ном}}$  — номинальный уровень напряжения на шинах постоянного тока подстанции,  $U_{\text{ном}} = 3300$  В;  $A$  — коэффициент относительно наклона внешней характеристики тяговой подстанции, для шестипульсовой схемы выпрямления (нулевая с уравнительным реактором трехфазная мостовая)  $A = 0,5$ , для двенадцатипульсовой схемы выпрямления  $A = 0,26$ ;  $U_{\text{кт}} \%$  — напряжение короткого замыкания преобразовательного трансформатора;  $S_{\text{нт}}$  — номинальная мощность первичной обмотки трансформатора преобразовательного агрегата;  $S_{\text{кз}}$  — мощность короткого замыкания на шинах, от которых получают питание преобразовательные агрегаты (т. е. на шинах высокого напряжения, а в случае двойной трансформации — на вторичной стороне понижающих трансформаторов);  $n_0$  — общее число рабочих агрегатов на подстанции.

Среднее значение потери напряжения на тяговой подстанции может быть найдено по формуле

$$\Delta U_{\text{сп т.с.}} = \rho \cdot I_{\text{тп}}, \quad (6)$$

где  $\rho$  — условное эквивалентное приведенное сопротивление тяговой подстанции;  $I_{\text{тп}}$  — средний ток тяговой подстанции на стороне 3,3 кВ за время хода поезда

по автоматической характеристике по условному ограничивающему перегону.

$$I_{\text{тп}} = \frac{A'_n - A'_{T_i}}{UT} + \frac{A'_i}{Ut_{iT}}, \quad (7)$$

где  $T$  — расчетный период,  $T = 24$  час;

$A'_n$  — расход электроэнергии на движение поездов с минимальным межпоездным интервалом за расчетный период  $T$ , отнесенный к рассматриваемой подстанции. Для подстанции с четырьмя питающими фидерами:

$$A'_n = K_d \cdot K_3 \cdot (A'_1 + A'_2 + A'_3 + A'_4 + \dots + A'_i) \cdot N_0; \quad (8)$$

$A'_i$  — расход электроэнергии на движение поезда по условному ограничивающему перегону с номером  $i$ , отнесенный к расчетной подстанции;

$A'_{T_i}$  — расход электроэнергии на движение поезда для условного перегона за расчетный период:

$$A'_{T_i} = K_d \cdot K_3 \cdot A'_i \cdot N_0; \quad (9)$$

$U$  — расчетное напряжение контактной сети;  $U = 3$  кВ;  
 $t_{iT}$  — время хода под током на автоматической характеристике на  $i$ -м лимитирующем перегоне.

Значение  $A'_i$  определяют по части кривой поездного тока, отнесенного к расчетной подстанции.

Условное эквивалентное приведенное сопротивление тяговой подстанции может быть определено исходя из следующего выражения [3]:

$$\rho = \frac{U_0}{I_n} \cdot A \left[ \left( \frac{S_{\text{нт}}}{S_{\text{кз}}} + \frac{u_{\text{кр}\%} \cdot S_{\text{нт}}}{100 \cdot S_{\text{нр}} \cdot n_r} \right) \left( 1 + \frac{\alpha}{1 - \alpha} \right) + \frac{U_{\text{кр}\%}}{100 \cdot n_r} \right]; \quad (10)$$

где  $U_{\text{кр}\%}$  — напряжение короткого замыкания головного трансформатора;  $S_{\text{нт}}$  — номинальная мощность головного трансформатора;  $n_r$  — количество головных трансформаторов, находящихся в работе;  $\alpha$  — относительная доля нетяговой нагрузки в суммарной нагрузке подстанции.

Введение скобки  $\left( 1 + \frac{\alpha}{1 - \alpha} \right)$  позволяет учесть потери напряжения на шинах постоянного тока подстанции, обусловленные нетяговой нагрузкой.

$$\alpha = \frac{S_p}{\frac{P_{\text{выпр}}}{\cos \varphi} + S_p}, \quad (11)$$

где  $P_{\text{выпр}}$ ,  $S_p$ ,  $\cos \varphi$  — соответственно выпрямительная мощность подстанции, мощность районной нагрузки, коэффициент мощности подстанции.

В большинстве случаев для практических целей среднее значение потери напряжения в тяговой сети до по-

езда за время хода на автоматической характеристике по  $i$ -му условному перегону может быть найдено по формулам, приведенным в [2, 3], по которым можно также определить среднюю потерю напряжения в тяговой сети до поезда за время хода по отдельному блок-участку.

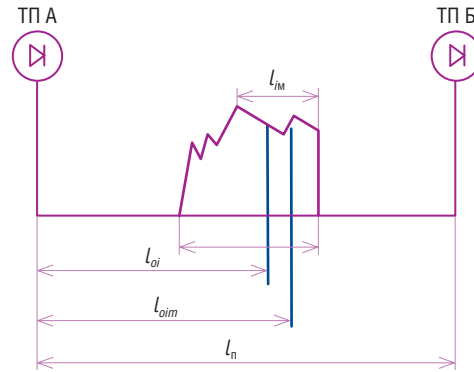


Рис. 1. Координаты расположения лимитирующего перегона относительно подстанции

Исходя из рис. 1., для случая двустороннего питания однопутного и многопутного участка расчетные формулы имеют вид [2]:

1. Однопутный или многопутный участок при раздельном питании путей:

$$\Delta U_{pi} = \frac{r}{Ul} \cdot \left\{ \frac{A_{pi}}{t_{iT}} \left[ l_{oim}(l - l_{oim}) - \frac{l_{im}^2}{12} \right] + \frac{A_f}{2Tl} \left[ l_{oi}(l - l_{oi})(l - 2l_i) + \frac{l_i^2}{4} \right] \right\}. \quad (12)$$

2. Многопутный участок при полном параллельном соединении проводов путей:

$$\Delta U_{pfi} = \frac{r_0}{Ul} \cdot \left\{ \frac{A_{pi}}{t_{iT}} \left[ l_{oim}(l - l_{oi}) - \frac{l_{im}^2}{12} \right] + \frac{1}{2T} \left[ l_{oi}(l - l_{oi}) - \frac{l_i^2}{12} \right] A_f + \frac{2l_i}{l} \left[ l_{oi}(l - l_{oi}) - \frac{l_i^2}{6} \right] A_f \right\}. \quad (13)$$

3. Для узловой схемы питания двухпутного участка при равных сечениях проводов контактной сети и расположении поста секционирования в середине фидерной зоны:

$$A_{pfi} = \frac{r_0}{2Ul} \cdot \left\{ \frac{A_{pi}}{t_{iT}} \left[ l_{oim}(2l - 3l_{oim}) - \frac{l_{im}^2}{4} \right] + \left( \frac{1}{4T} \left\{ l_{oi} A_f + A_f \left[ \frac{2l_{oi}}{l} (l - 2l_{oi})(l - 4l_i) + l_i^2 - 4 \frac{l_{oi}^2 l_i}{l} \right] \right\} \right) \right\}. \quad (14)$$

В формулах (12)–(14):

$r$  — удельное сопротивление тяговой сети одного пути, состоящее из километрового сопротивления контактной сети и рельсовой цепи;

$r_0$  — удельное сопротивление тяговой сети обеих путей, соединенных параллельно;

$A_{pfi}$  — расход энергии на движение поезда типа  $p$  по условному лимитирующему перегону  $i$  на рассматриваемом пути, при раздельном питании путей  $A_{pfi} = A_{pi}$ .

$A_f$  — суммарный расход энергии на движение по фидерной зоне всех поездов пути  $f$  за расчетный период  $T = 24$  час, при раздельной схеме питания;

$A_r$  — расход электроэнергии на движение всех поездов по всем путям фидерной зоны за расчетный период  $T$ ;

$l$  — длина фидерной зоны;

$l_i$  — длина  $i$ -го условного лимитирующего перегона;

$l_{ir}$  — длина отрезка пути, проходимого электровозом под током по автоматической характеристике на  $i$ -м лимитирующем перегоне;

$l_{oi}$  — расстояние от тяговой подстанции до середины  $i$ -го условного перегона;

$l_{oir}$  — расстояние от тяговой подстанции до середины отрезка пути, проходимого под током по автоматической характеристике на  $i$ -м условном ограничивающем перегоне;

$t_{ir}$  — время хода под током по автоматической характеристике на  $i$ -м условном перегоне;

$U$  — расчетное напряжение контактной сети,  $U = 3$  кВ.

Формулы (12)–(14) выведены из общих предположений, что все поезда, кроме рассматриваемого, находящегося на  $i$ -м условном ограничивающем перегоне, потребляют энергию по всей длине фидерной зоны.

Точность таких формул в большинстве случаев вполне удовлетворительна, так как значительная потеря напряжения создается нагрузкой рассматриваемого поезда, до которого она рассчитывается. Следует заметить, что на  $i$ -м условном перегоне должен находиться грузовой поезд установленной весовой нормы, который потребляет электроэнергию из тяговой сети по возможности большей величины. Все суточные расходы электроэнергии, входящие в вышеуказанные формулы, должны определяться, как и при определении потерь напряжения на тяговой подстанции, при движении поездов с минимальным межпоездным интервалом, с учетом коэффициентов  $K_d$  и  $K_3$ .

Значительный интерес представляет определение среднего уровня напряжения на блок-участке лимитирующего перегона. В большинстве случаев такой блок-участок выбирается по длине, исходя из времени хода по нему, равным  $\theta/3$ . При этом потребление энергии на таком блок-участке должно быть наибольшим среди трех блок-участков рассматриваемого условного перегона.

Проведя подстановку в вышеуказанные формулы, а также в формулу (6), вместо  $A_{pfi}$  (расход электроэнергии по  $i$ -му условному ограничивающему перегону) — расход энергии по блок-участку, требуется найденное значение среднего напряжения на блок-участке сравнить с минимально допустимым напряжением в контактной сети постоянного тока, которое равно 2700 В.

Если напряжение на блок-участке получится меньше допустимой нормы, то даются рекомендации в большинстве случаев по применению регулирования напряжения в системе электроснабжения электрифицированной железной дороги [4]. **ИТ**

### Список литературы

1. Тер-Оганов Э. В. Электроснабжение железных дорог : учебник / Э. В. Тер-Оганов, А. А. Пышкин. — Екатеринбург : УрГУПС, 2014. — 432 с. — Библиогр. : с. 426–431. — ISBN 978-5-94614-269-4. — Екатеринбург : УрГУПС, 2014. — 431 с.
2. Марквардт К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог : учеб. для вузов / К. Г. Марквардт. — 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Транспорт, 1982. — 528 с.
3. Справочник по электроснабжению железных дорог : В 2 т. Т. 2 / под ред. К. Г. Марквардта. — М. : Транспорт, 1981. — 392 с.
4. Аржанников Б. А. Совершенствование системы электроснабжения постоянного тока на основе автоматического регулирования напряжения тяговых подстанций [Текст] : научное издание / Б. А. Аржанников, А. А. Пышкин; Уральский государственный ун-т путей сообщения. — Екатеринбург : УрГУПС, 2006. — 116 с. : ил. — Библиогр. : с. 109–111. — ISBN 5-94614-032-9.



**Владимир  
Николаевич  
Коваленко**  
Vladimir N.  
Kovalenko



**Виктор  
Степанович  
Наговицын**  
Viktor S.  
Nagovitsyn



**Сергей  
Юрьевич  
Гришаев**  
Sergey Y.  
Grishaev

## Проблема безопасности движения поездов и пути ее решения

## The problem of rail traffic safety and its solutions

### Аннотация

Статья посвящена проблеме повышения безопасности движения поездов. Представлен анализ состояния безопасности движения поездов, и дан обзор современных тенденций совершенствования локомотивных и напольных систем, обеспечивающих безопасность движения поездов, расширение их функциональных возможностей на основе использования микропроцессоров и информационных технологий.

**Ключевые слова:** автоматическая локомотивная сигнализация непрерывного типа, КЛУБ, ЕКС, БЛОК, САУТ, микропроцессор, безопасность, информационные технологии, интегрированные аппаратно-программные средства, программно-аппаратные комплексы.

### Abstract

The article is devoted to the problem of safety of trains and ways to improve it. It analyzes the state of traffic safety and provides an overview of current trends to improve the locomotive and ground systems to ensure the safety of trains, expansion of their functionality through the use of microprocessors and information technology.

**Keywords:** automatic locomotive signaling of continuous type, KLUB, EKS, BLOK, SAUT, microprocessor, security, safety, information technology, integrated hardware and software tools, hardware and software systems.

DOI:10.20291/2311-164X-2016-3-53-59

### Авторы Authors

**Владимир Николаевич Коваленко**, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Виктор Степанович Наговицын**, д-р техн. наук Уральского отделения АО «ВНИИЖТ», Екатеринбург | **Сергей Юрьевич Гришаев**, инженер Уральского отделения АО «ВНИИЖТ», Екатеринбург

**Vladimir Nikolaevitch Kovalenko**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department "Automation, telemechanics and communication on railway transport", Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg | **Viktor Stepanovitch Nagovitsyn**, Dr. Sc. Sciences, Ural Branch of JSC "VNIIZhT", Ekaterinburg | **Sergey Yurievitch Grishaev**, Engineer, Ural Branch of JSC "VNIIZhT" (Scientific Research Institute of Railway Transport, Ekaterinburg)

Перевозочные процессы, реализуемые различными видами транспорта, в том числе и железнодорожным, относятся к ответственным технологическим процессам (ОТП) [1]. Известны многочисленные крушения и аварии поездов, которые сопровождалась гибелью большого числа людей, утратой значительных материальных ценностей, а также потерями экологического характера. Следовательно, проблема обеспечения безопасности движения транспортных средств является частью более общей проблемы, а именно защиты человека от отрицательных воздействий окружающей его технологической среды.

Безопасность перевозочного процесса на железнодорожном транспорте понимается как свойство транспортной системы не создавать опасности для сохранности перевозимого груза, технических средств, объектов окружающей среды, для сохранности здоровья и жизни пассажиров, технического персонала, населения, находящегося в зоне влияния перевозочного процесса [2].

Безопасность транспортного комплекса (ТК) может быть как внутренней, так и внешней. Под внутренней безопасностью ТК (Safety Internal) понимается его свойство не нарушать сохранность пассажиров, грузов, технических средств и окружающей среды по причине отказов внутренних элементов ТК, а под внешней безопасностью ТК (Safety External) понимается его свойство не нарушать сохранность пассажиров, грузов, технических средств и окружающей среды при воздействии внешних дестабилизирующих факторов.

Безопасное функционирование железнодорожного транспорта как сложной технологической системы требует выполнения согласованных требований эксплуатации, совершенствования существующих локомотивных и стационарных устройств и систем обеспечения безопасности движения поездов, а также соответствующих нормативных технических документов.

Как показывает практика, наибольшее число аварийных ситуаций возникает из-за ошибочных действий человека, вероятность которых составляет  $10^{-2}$ – $10^{-3}$ , т. е. человек в среднем совершает одну ошибку на 100–1000 операций [3].

Так, в период с 1982 по 1991 год ежегодно происходили крушения от 31 до 52 поездов, в том числе от 3 до 9 пассажирских. Основными причинами крушений и аварий явились: проезды запрещающего сигнала (2/3 всех случаев), приводящие к столкновениям подвижного состава; неисправности пути; изломы деталей подвижного состава.

На рис. 1 приведена динамика изменения количества проездов поездами запрещающих сигналов за период с 1985 по 2006 год [4].

Таким образом, из-за сильного влияния человеческого фактора на безопасность существенное значение имеет использование в устройствах управления технических систем, которые позволяют или полностью автоматизировать управление, или контролировать безошибочность действий персонала, снижая тем самым вероятность возникновения опасной ситуации в системе «человек — техника».

В соответствии с этим существует актуальная потребность создания надежных многофункциональных технических средств обеспечения безопасности движения поездов, которые бы предотвращали ошибки человека, приводящие к нарушению режимов движения поездов, т. е. к особым случаям брака в работе железнодорожного транспорта. В их числе проезды поездом запрещающего сигнала, которые являются потенциально опасными и приводят к возникновению поражающих факторов, экологических и экономических потерь.

Первые проекты автоматической блокировки на железных дорогах СССР были реализованы с 1931 по 1932 г., а устройства автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа (АЛСН) совершенствовались в 1940-х и 1950-х гг. [5].

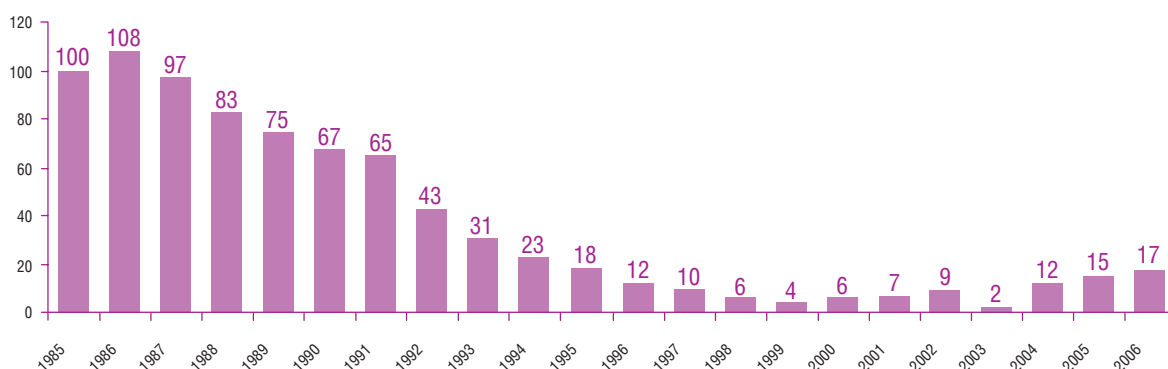


Рис. 1. Изменение числа проездов поездами запрещающих сигналов за период с 1985 по 2006 год  
■ — количество случаев проезда запрещающих сигналов



В середине 1960-х гг. была разработана усовершенствованная путевая и бортовая локомотивная аппаратура АЛСН, которая надежно обеспечивала интервальное регулирование движения поездов на однопутных и двухпутных участках железных дорог, но решала ограниченный перечень задач: дешифрации информации, поступающей от напольных устройств АБ и ЭЦ, включения сигнального показания на локомотивном светофоре и контроля условий безопасности движения поезда. Функции приема, обработки числового кода и дешифрации кода, принимаемого с напольных устройств, выполняли усилитель типа УК-25 (50) и дешифратор ДКСВ, реализованный с применением электромагнитных реле не первого класса надежности [5].

Для достижения целей обеспечения безопасности движения требуется решение определенных научно-технических и организационно-производственных задач, касающихся всех работников, связанных с организацией и осуществлением перевозочного процесса. Во-первых, это создание надежных и функционально полных технических средств, предотвращающих ошибки и нарушения режимов движения поездов. Во-вторых, это организационно-административное устранение причин, которые приводят к нарушениям правил технической эксплуатации (ПТЭ) и должностных инструкций.

К техническим средствам обеспечения безопасности железнодорожного транспорта относятся: электрическая централизация стрелок и сигналов (ЭЦ), путевые и станционные устройства систем полуавтоматической блокировки (ПАБ), автоматической блокировки (АБ) и автоматической локомотивной сигнализации (АЛС), а также бортовые локомотивные устройства: дешифратор АЛСН, КЛУБ, САУТ, ТСКБМ, ЭПК-150 и др. [6].

Основной системой, которая используется на отечественных железных дорогах, является система АЛСН.

Система АЛСН интегрирована в состав систем автоматической блокировки и электрической централизации и содержит напольные устройства, формирующие числовые коды, а также локомотивные устройства, осуществляющие прием, обработку, усиление, дешифрацию принятого числового кода и выработку управляющих воздействий, подаваемых на локомотивный светофор и электропневматический клапан (ЭПК). Кроме дублирования показаний сигналов путевых светофоров на локомотивном светофоре для машиниста и помощника машиниста, устройства АЛСН совместно с локомотивным скоростемером выполняют функции, которые обеспечивают контроль и регистрацию:

- включения сигнальной лампы превышения скорости, загорающейся одновременно с включением свистка электропневматического клапана автостопа ЭПК, требующей применения служебного автоматического пневматического торможения для снижения до установленной сигналом скорости движения поезда;

- значения фактической скорости движения поезда, км/ч;
- положения ключа ЭПК (включен/выключен);
- отметки воздействия машиниста на рукоятку бдительности;
- отметки восприятия предупреждающего свистка ЭПК о возможности срабатывания автостопа;
- снижения скорости (управления тормозами) при пневматическом или электрическом торможении локомотива.

Система числовой кодовой автоблокировки даже при относительно низкой информативной емкости, ограниченных функциональных возможностях позволила в определенной мере обеспечить требования по безопасности движения поездов, в том числе по сокращению проезда путевых сигналов с запрещающими показаниями. В 1950 г. на железных дорогах СССР было допущено 800 крушений. В период с 1967 по 1977 год ежегодно допускалось от 63 до 87 случаев крушения, в том числе от 16 до 30 случаев с пассажирскими поездами [5].

Анализ причин крушений, аварий, связанных в первую очередь с проездом запрещающих сигналов, и других нарушений требований безопасности машинистами локомотивов показал, что для обеспечения своевременного торможения поезда должны выполняться определенные профессиональные требования.

При управлении движением поезда машинист локомотива должен обеспечивать движение со скоростью  $V_{\phi}$ , не превышающей значение допустимой скорости по условиям безопасности  $V_{д}$ , т. е. он должен обеспечивать следующее соотношение между этими скоростями:

$$V_{д} \geq V_{\phi}. \quad (1)$$

Если в результате ошибочных действий машиниста при управлении движением поезда соотношение между скоростями  $V_{д}$  и  $V_{\phi}$  принимает вид

$$V_{д} < V_{\phi}, \quad (2)$$

т. е. происходит переход от соотношения (1) к (2), то процесс движения переходит в опасное состояние, которое может закончиться крушением или аварией. Поэтому система парирования опасных ошибок машиниста должна своевременно обнаруживать тенденцию перехода в опасное состояние, определяемое выражением (2), и включать тормозную систему с целью исключения этого перехода.

Анализ показывает, что для решения этих двух задач система парирования должна в идеальном случае иметь:

- необходимую информацию для расчета текущего значения  $V_{д}$  (координаты мест постоянных и временных ограничений скорости по состоянию пути, планы и профили впереди расположенных участков пути, факторы внешней среды,

влияющие на условия сцепления колес с рельсами, расстояние до хвоста впереди находящегося поезда, конструктивные, проектные и фактические скорости вагонов и локомотива конкретного поезда, значения параметров тормозной системы);

- устройство и программу расчета  $V_d$  в каждой точке пути на основе этой информации;
- устройство и программу расчета  $V_\phi$  и пройденного пути от границы блок-участка и определения расстояния до следующей границы;
- устройство и программу оценки соотношения между  $V_d$  и  $V_\phi$ , а также формирования команды для управления тормозами;
- устройство для управления тормозами с целью обеспечения соотношения между скоростями (1) или перевода движения в защищенное состояние  $V_\phi = 0$ .

Всем перечисленным требованиям соответствует только система автоматического управления торможением поездов — САУТ, которая была создана в 1965 г., но не нашла своего развития в качестве основного прибора безопасности, а также безопасный локомотивный комплекс БЛОК и единая комплексная система безопасности и автоведения ЕКС, созданные на основе математических моделей и программного обеспечения САУТ.

24 февраля 1966 г. был издан приказ МПС № 9Ц «О мерах по дальнейшему повышению безопасности движения на железных дорогах», после чего начались серьезные исследования в области создания промышленных образцов системы САУТ.

Для достижения целей обеспечения безопасности движения Министерство путей сообщения решало комплекс научно-технических и организационно-производственных задач, касающихся всех работников, связанных с организацией и осуществлением перевозочного процесса. Во-первых, это создание надежных и функционально законченных технических средств, предотвращающих ошибки персонала и нарушения режимов движения поездов. Во-вторых, это организационно-административное устранение причин, которые приводят к нарушениям ПТЭ и должностных инструкций.

После крушений поездов с тяжелыми последствиями и гибелью людей (06.11.1986 г. — лобовое столкновение двух пассажирских поездов из-за проезда маршрутного светофора с запрещающим сигналом на станции Користовка Одесской железной дороги; 07.08.1987 г. — крушение на станции Каменская Лиховского отделения ранее Юго-Восточной железной дороги) были изданы нормативные документы, которые предписывали коренное изменение отношения к организации и применению соответствующих технических средств обеспечения безопасности движения поездов [7, 8]. Согласно [7, 8] было необходимо:

1) «...обеспечить выполнение заданий по разработке, производству, поставке и внедрению на железных дорогах приборов по обеспечению безопасности движения и средств диагностики железнодорожного подвижного состава, пути, устройств электроснабжения, сигнализации и связи на 1988–1990 годы и на период до 1995 года...»;

2) «...назначить руководителей, ответственных за реализацию заданий по разработке, производству, поставке и внедрению на железных дорогах приборов по обеспечению безопасности движения и средств диагностики железнодорожного подвижного состава, пути, устройств электроснабжения, сигнализации и связи на 1988–1990 годы и на период до 1995 года»;

3) «...завершить в 1988–1989 годах оборудование магистральных локомотивов приборами, обеспечивающими остановку поезда при самопроизвольном его движении в обратном направлении; в месячный срок установить порядок обязательного применения электрического торможения, в особенности при следовании поездов по участкам с затяжными спусками».

Система обеспечения безопасности, которая строилась и совершенствовалась на основе применения АЛСН, стала оснащаться дополнительными устройствами контроля бдительности машиниста и обеспечения безопасности движения поездов, разработанными по заданию локомотивного главка МПС. Так, были разработаны:

- устройство контроля бдительности типа Л-116 в системе АЛСН;
- модернизированная система АЛСН для работы машиниста без помощника «в одно лицо»;
- устройство контроля бдительности машиниста (УКБМ) с блоками Л-116, Л-116У;
- устройство предотвращения самопроизвольного движения (скатывания) локомотива и поезда Л-168;
- блоки предварительной световой сигнализации контроля бдительности машиниста Л-77, Л-159, Л-159М, Л-143;
- индикатор контроля бодрствования машиниста типа Л-164;
- устройство контроля параметров движения поезда и контроля бдительности машиниста и автоматического торможения перед светофором с запрещающим сигналом Л-132 («Дозор»);
- комплексное локомотивное устройство безопасности КЛУБ (различных модификаций) с функциями дешифратора сигналов АЛСН;
- система автоматического управления торможением поездов САУТ различных модификаций (САУТ, САУТ-У, САУТ-УМ, САУТ-Ц, САУТ-ЦМ, САУТ-ЦМ-485).

Решение о стопроцентном оборудовании локомотивов недорогими и относительно простыми дополнительными приборами безопасности позволило в относительно короткие сроки стабилизировать ситуацию и резко, почти в десять раз, сократить число проездов запрещающих сиг-

налов. При этом объемы внедрения САУТ пилотного проекта на Свердловской железной дороге значительно увеличились, подтвердились ее высокие функциональные показатели. Если в период с 1986 по 1989 год путевыми устройствами САУТ было оборудовано только 668 км линий, а локомотивными устройствами САУТ около 20 пассажирских электровозов ЧС2 и ЧС7 в локомотивном депо Свердловск-пассажирский, а также 82 грузовых электровоза ВЛ 11, то в период с 1990 по 1992 год путевыми устройствами САУТ были уже оборудованы участки линий общей протяженностью 1134 км, а локомотивной аппаратурой САУТ оснащены 133 грузовых локомотива ВЛ 11 [9].

В 1990 г. было освоено промышленное производство комплексов контроля параметров движения (КПД). В 1992 г. усовершенствованные комплексы КПД-3 были включены в государственную программу повышения безопасности движения на железнодорожном транспорте для широкого внедрения.

Микропроцессорные локомотивные комплексы КПД обеспечивали регистрацию поездной информации на электронный носитель, что и позволяло автоматизировать процесс ее расшифровки. Усовершенствованный комплекс КПД-ЗПВ был дополнен функциями предварительной световой сигнализации при периодической проверке бдительности.

После крушения 9 декабря 2001 г. грузовых поездов № 2126, 3004, 2805 на Забайкальской железной дороге руководством Министерства путей сообщения было принято решение о замене на локомотивах приборов безопасности на более современные, и в первую очередь на железных дорогах 1-й категории [10]. Такое решение было принято по результатам применения технических аппаратно-программных средств безопасности с расширенными функциональными свойствами САУТ, КЛУБ-У и ТСКБМ, которые автоматически предотвращают проезд поездом (локомотивом, самоходной подвижной единицей) сигнала с запрещающим показанием и наиболее эффективны в эксплуатации.

Графики регулирования скорости движения поезда при использовании систем АЛСН, КЛУБ и САУТ приведены на рис. 2.

На 1 января 2006 г. на сети российских железных дорог эксплуатировалось 4630 локомотивов, оборудованных устройствами САУТ (около 30%), напольными устройствами САУТ оборудовано 24,5 тыс. км линий, или 29% наиболее напряженных участков железных дорог, комплексными локомотивными устройствами безопасности КЛУБ-У было оборудовано 1916 локомотивов, или 9,75% от парка [9].

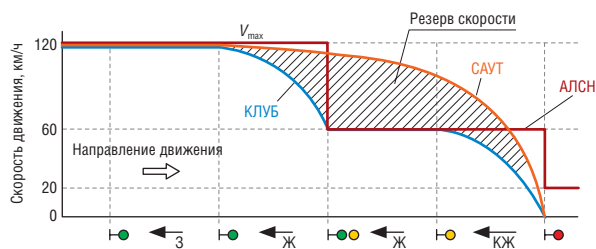


Рис. 2. Графики регулирования скорости движения поезда при использовании систем АЛСН, КЛУБ, САУТ

В этот период инвентарный парк, состоящий из 19648 локомотивов, 76,6% эксплуатируемого парка (5193 из 9303 магистральных электровозов, т. е. 55,6%, и 9744 из 10345 тепловозов, в том числе маневровых 93,8%), был в основном оборудован устройствами АЛСН и дополнительными приборами контроля бдительности машиниста:

- блоками предварительной световой сигнализации типа Л-77, Л-159 (Л-159М), Л-143;
- устройствами предотвращения самопроизвольного движения локомотива Л-168;
- устройствами контроля бдительности машиниста Л-132 «Дозор» и УКБМ с Л-116 (Л-116У) [4].

Статистика крушений и аварий, связанных с нарушением безопасности, подтверждает неуклонное снижение числа случаев крушений и аварий поездов на железных дорогах СССР и России. После 1991 г. ситуация с обеспечением безопасности движения поездов стабилизировалась. Статистические сведения о крушениях и авариях, связанных с нарушением безопасности движения поездов, приведены на рис. 3 [11].

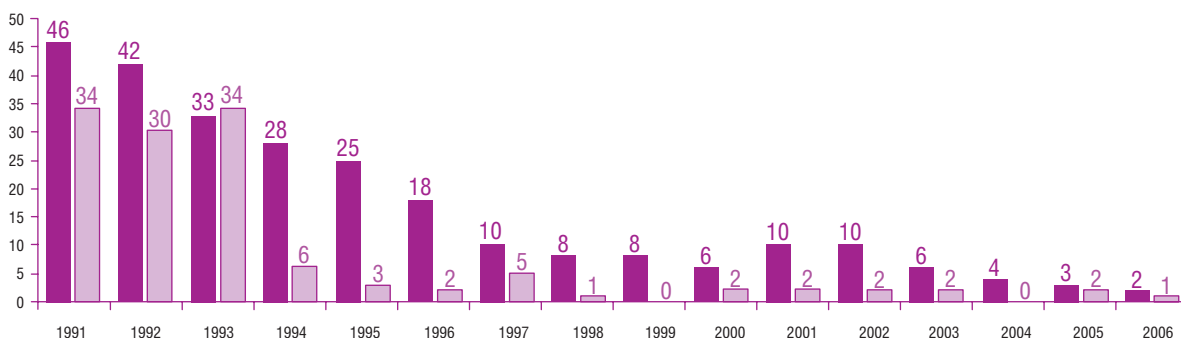


Рис. 3. Диаграмма распределения статистических данных о крушениях и авариях по годам  
 ■ — количество крушений в год; ■ — количество аварий в год

Анализ случаев нарушений безопасности движения поездов, связанных с проездом запрещающих сигналов, показывает, что основными причинами являются (по данным ПКБ ЦТ):

- ненаблюдение за сигналами, несоблюдение регламента переговоров между машинистом и помощником машиниста, ошибочное восприятие сигналов или плохая видимость — от 60 % до 80 % от количества всех случаев;
- несогласованность действий машиниста с ДСП и ДНЦ, несогласованность действий машиниста и помощника машиниста, несанкционированное движение поезда или локомотива после остановки — от 20 % до 30 %;
- сон, потеря бдительности или установленного уровня бодрствования машиниста — от 5 % до 10 %;
- превышение скорости движения, позднее применение тормозов поезда, неэффективное торможение поезда — от 5 % до 10 %.

Почти все случаи проезда запрещающих сигналов связаны с отключением АЛСН и локомотивных приборов безопасности, в том числе нередко находящихся в исправном состоянии.

Анализ причин случаев проезда запрещающих сигналов за период с 1990 по 2005 год показывает, что на локомотивах и МВПС, оснащенных системой САУТ (включенных при движении поезда), было допущено только 5 случаев проезда, а на локомотивах и МВПС, не оборудованных САУТ, совершено более 200 случаев проезда.

Проезды запрещающих сигналов подвижным составом, оборудованным САУТ, были вызваны в основном двумя причинами: отказами путевых и локомотивных устройств и ошибочными действиями локомотивных бригад в нестандартных ситуациях, в том числе при исправной бортовой аппаратуре.

Принятая ОАО «РЖД» в мае 2006 г. «Концепция повышения безопасности движения на основе применения многофункциональных комплексных систем регулирования движения поездов на железных дорогах — филиалах ОАО «РЖД» была ориентирована на совершенствование, развитие устройств обеспечения безопасности движения, повышение их надежности и оснащение железных дорог современными системами в необходимом количестве [4]. При этом система обеспечения безопасности по-прежнему ориентировалась на применение АЛСН, которая предусматривала дополнительную установку специальных точечных путевых и станционных устройств САУТ. Она также предусматривала передачу сигналов светофоров с помощью системы TETRA, позиционирование подвижного состава с помощью баз данных электронных карт участка и применения системы спутниковой навигации GPS/ГЛОНАСС с передачей технологической информации по каналам радиосвязи GSM-R.

Реализация основных положений концепции, в которой активно участвовали лаборатория САУТ Уральско-

го отделения ВНИИЖТ, ООО «НПО САУТ» по созданию напольных и бортовых локомотивных приборов САУТ различных модификаций, позволила коренным образом улучшить состояние обеспечения безопасности движения поездов, в том числе за счет сокращения случаев проезда запрещающих сигналов на перегонах и станциях.

По данным ПКБ ЦТ ОАО «РЖД», в период с 2006 по 2013 год парк тягового и мотор-вагонного подвижного состава российских железных дорог устойчиво обеспечивался современными системами безопасности. На 01.01.2016 г. эксплуатируемый парк магистральных и маневровых локомотивов оборудован приборами обеспечения безопасности движения и контроля бдительности машиниста:

- АЛСН (с дополнительными приборами безопасности) — 64 %;
- БЛОК — 3,5 %;
- САУТ-ЦМ/485 + САУТ-Ц — 35,8 %;
- КЛУБ-АМ + КЛУБ-У — 33 %;
- ТСКБМ — 36,6 %;
- КПД-3 + КПД-3В + КПД-3П — 24 %.

Очевидно, что большое количество технических средств, находящихся на сети дорог ОАО «РЖД», устарели и не могут быть в короткие сроки модернизированы. Поэтому необходима разработка очередного документа ОАО «РЖД», определяющего стратегию разработки и внедрения современных многофункциональных систем обеспечения безопасности движения поездов (САУТ, БЛОК, ЕКС, МАЛС и др.) и целевые показатели, характеризующие результаты реализации стратегии — целевое состояние безопасности перевозочного процесса.

Исторически при создании и внедрении устройств безопасности не удавалось избежать дублирования в них функций измерения скорости движения, давления сжатого воздуха, передачи информации, индикации, отображения информации и др. Однако накопленный опыт позволяет развить и конкретизировать требования к последующему поколению технических средств безопасности.

Благодаря широкому применению микропроцессорных устройств, средств информатизации появилась возможность интеграции основных функций технических средств обеспечения безопасности и автоматизированных систем управления ведением поезда.

Первым из методов расширения функциональных возможностей локомотивных систем и комплексов обеспечения безопасности движения является применение самостоятельных приборов различного назначения в виде набора дополнительных устройств к АЛС по перечню, в котором для отдельных типов и серий локомотивов предусматривается набор до шести самостоятельных дополнительных устройств [12].

Второй метод — объединение функциональных возможностей на аппаратно-программном уровне в виде набора функций, выполняемых аппаратными средствами (отдельными самостоятельными блоками) интегриро-

ванных устройств, с применением общих алгоритмов и программных средств приема, обработки, обмена информацией, выработки и передачи команд управления, например, построение комплексов БЛОК, ЕКС и микропроцессорной системы управления и диагностики локомотива (МВПС) МПСУиД.

Третий метод, обеспечивающий расширение функциональных возможностей, — это применение программно-аппаратных комплексов или систем на основе интеграции назначенных функций программными средствами и обеспечение их исполнения специально создаваемыми аппаратными средствами.

Для достижения этих целей должны быть определены основные задачи, среди которых главными являются задачи, непосредственно связанные с эффективностью эксплуатации бортовых локомотивных и инфраструктурных объектов обеспечения безопасности железнодорожного транспорта, а именно:

- классификация функций обеспечения безопасности;
- определение возможностей имеющихся аппаратных средств для выполнения максимального количества функций безопасности интегрированного устройства;
- определение методов интеграции функций аппаратными средствами;
- определение методов интеграции функций программными средствами;
- формирование механизмов масштабирования программно-аппаратных средств в зависимости от интенсивности перевозок, оснащённости участков пути инфраструктурными устройствами обеспечения безопасности движения, особенностей типа, серии и конструкции локомотивов и МВПС;

- создание условий для наиболее полного, комплексного использования функций бортовых программно-аппаратных средств безопасности в эксплуатации, при техническом обслуживании и ремонте;
- удобство при управлении локомотивом, автоматический контроль и реализация других промежуточных технологических функций, связанных с эксплуатацией средств обеспечения безопасности.

### Заключение

1. Решение о стопроцентном оборудовании локомотивов недорогими и относительно простыми дополнительными приборами безопасности позволило в относительно короткие сроки стабилизировать ситуацию с обеспечением безопасности движения поездов и резко, почти в десять раз, сократить число проездов запрещающих сигналов.

2. В настоящее время первоочередной задачей в системе обеспечения безопасности движения на перегонах и станциях является функциональное развитие существующих локомотивных и напольных устройств, обеспечивающих не только автоматическую остановку перед запрещающим сигналом, но и интервальное регулирование движения поездов на перегонах, а также управление маневровыми передвижениями на станциях, при условии их массового производства для замены устаревших и выработавших срок службы устройств.

3. По данным ПКБ ЦТ ОАО «РЖД», в период с 2006 по 2013 год парк тягового и мотор-вагонного подвижного состава российских железных устойчиво обеспечивался современными системами обеспечения безопасности движения поездов. **ИТ**

### Список литературы

1. Лисенков В. М. Статистическая теория безопасности движения поездов : учеб. для вузов. — М. : ВИНТИ РАН, 1999. — 332 с.
2. Лисенков В. М. Безопасность ответственных технологических процессов и технических средств на транспорте // Автоматика, телемеханика и связь. — 1992. — № 1. — С. 8–11.
3. Пирик К. Система «человек — машина» в управлении транспортными процессами // Железные дороги мира. — 1974. — № 7. — С. 7–12.
4. Концепция повышения безопасности движения на основе применения на железных дорогах многофункциональных комплексных систем регулирования движения поездов: утв. президентом ОАО «РЖД» 12.05.2006 г. / ОАО «РЖД». — URL: [www.studfiles.ru/preview/4550736](http://www.studfiles.ru/preview/4550736).
5. Сороко В. И. Автоматика, телемеханика, связь и вычислительная техника на железных дорогах России: энциклопедия : в 2 т. / В. И. Сороко, В. М. Кайнов, Г. Д. Казиев. — М. : НПФ «Планта», 2006. — Т. 1. — С. 363–370.
6. Коваленко В. Н., Зайцев Д. Ю. Основные параметры и характеристики безопасного локомотивного объединенного комплекса БЛОК // Инновационный транспорт. — 2014. — № 1. — С. 13–17. — ISSN 2311–164X.
7. О мерах по обеспечению безопасности движения на автомобильном и железнодорожном транспорте: Постановление Совета Министров СССР от 14 марта 1988 года № 336.
8. О мерах по обеспечению безопасности движения: Приказ МПС СССР от 04.04.1988 г. № 27-Ц.
9. Опыт внедрения и эксплуатации системы автоматического торможения поезда (САУТ): докладная записка В. И. Головина, к.т.н., заведующего отделом САУТ УО ВНИИЖТ, академического советника Инженерной академии РФ, и Б. И. Мацкевича, главного инженера Свердловской железной дороги, члена-корреспондента Инженерной академии РФ Б. Д. Никифорову, заместителю министра путей сообщения, д.т.н., действительному члену Российской и Международной инженерной академии (РИА и МИА), председателю секции «Железнодорожный транспорт» Российской инженерной академии 24.01.1994 г.
10. О крушении грузовых поездов № 2126, 3004, 2805 на станции Гонжа Забайкальской железной дороги: Приказ Министра путей сообщения от 29 декабря 2001 г. № 53.
11. Волков А. Н. Безопасность движения на основе функциональной стратегии // Железнодорожный транспорт. — № 3. — 2008. — URL: <http://www.zdtmagazine.ru/publik/bezopas/2008/mart08pri.htm>
12. Об утверждении перечня устройств безопасности движения и регистраторов переговоров: распоряжение ОАО «РЖД» от 13.08.2013 г. № 1745р. — М., 2013. — URL: <http://prolokomotiv.ru/rasporyazhenie-oao-rzhd>



Ирина Анатольевна  
Баева  
Irina A. Baeva

## Учет потерь электрической мощности в трансформаторах тяговых подстанций постоянного тока

### Accounting for electric power losses in transformers, DC traction substations

#### Аннотация

В статье представлен анализ суммарного расхода электрической энергии системы тягового электропитания постоянного тока. Описаны параметры, входящие в суммарный расход. Проведен электрический расчет в существующей программе «КОРТЭС» («Комплекс расчетов тягового электроснабжения») на фидерной зоне Просвет — Малиновка Южно-Уральской железной дороги при различных режимах работы тяговой подстанции. По результатам расчета выявлена неточность учета потерь электрической энергии в понижающем и преобразовательном трансформаторах. Предложена методика определения потерь электрической мощности в трансформаторах.

**Ключевые слова:** «КОРТЭС», расход электрической энергии на тягу, потери мощности, преобразовательный трансформатор.

DOI:10.20291/2311-164X-2016-3-60-64

#### Авторы Authors

*Ирина Анатольевна Баева, аспирант кафедры «Электроснабжение транспорта» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: IBaeva@usurt.ru*

*Irina Anatolievna Baeva, graduate student of the department "Electrical Transport" Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, Russia; e-mail: IBaeva@usurt.ru*

С увеличением объемов перевозок на железных дорогах появляется необходимость увеличения их пропускной и провозной способности. Повышаются скорости движения и весовые нормы поездов, создаются новые электровозы большей мощности.

Устройства электроснабжения постоянного тока ограничивают пропускную и провозную способность участка электрифицированных железных дорог. Для определения межподстанционных зон, не проходимых по допустимому уровню напряжения 2700 В, необходимо производить электрические расчеты системы тягового электроснабжения.

В ОАО «РЖД» для этих целей используется программный комплекс «КОРТЭС», позволяющий выполнять расчеты пропускной способности системы тягового электроснабжения постоянного тока напряжением 3,0 кВ, а именно: основные характеристики рабочего режима участка (расход электрической энергии на тягу, потери в тяговой сети, ограничивающий ток выпрямителя, ограничивающие коэффициенты нагрузки и напряжения), нагрузки тяговых подстанций, нагрев проводов контактной сети, минимальные напряжения на токоприемниках локомотивов, расход и потери электроэнергии, параметры режима межподстанционных зон.

К основному технико-энергетическому показателю системы тягового электроснабжения при пропуске поездов относят суммарный расход электрической энергии (ЭЭ), который складывается из следующих показателей:

$$\begin{aligned} \sum A &= A_{\text{ЭПС}} + \Delta A_{\text{ТС}} + \Delta A_{\text{ПТ}} + \Delta A_{\text{ПР.Т}} = \\ &= A_{\text{ТП}} + \Delta A_{\text{ПТ}} + \Delta A_{\text{ПР.Т}}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $A_{\text{ТП}}$  — расход ЭЭ по счетчикам тяговых подстанций, кВт·ч;  $A_{\text{ЭПС}}$  — расход ЭЭ по счетчикам электроподвижного состава, кВт·ч;  $\Delta A_{\text{ТС}}$  — потери ЭЭ в тяговой сети, кВт·ч;  $\Delta A_{\text{ПТ}}$  — потери ЭЭ в головном понижающем трансформаторе, кВт·ч;  $\Delta A_{\text{ПР.Т}}$  — потери ЭЭ в преобразовательном трансформаторе, кВт·ч.

Расход электрической энергии по счетчикам тяговых подстанций складывается из расхода ЭЭ по счетчикам электроподвижного состава и потери ЭЭ в тяговой сети. Потери в преобразовательном и понижающем трансформаторах обязательно должны учитываться в суммарном расходе ЭЭ.

Полученное из программы «КОРТЭС» значение расхода ЭЭ на тягу поездов предполагает учет потерь ЭЭ в трансформаторах.

Для оценки учета потерь электрической энергии в трансформаторах в программе «КОРТЭС» проведем расчет на фидерной зоне Просвет — Малиновка Южно-Уральской железной дороги. Тяговая нагрузка во всех случаях одинаковая (поезда в пакете в нечетном направлении: 6300 т (ВЛ 10) — 9000 т (1,5×ВЛ 10) — 6300 т (ВЛ 10) и поезда в четном: 5000 т (ВЛ 10) с межпоездным интервалом 10 минут). Продолжительность расчета — 60 минут.

Расчеты производятся при различных режимах работы тяговой подстанции:

1. Включены один понижающий и один преобразовательный трансформаторы.
2. Включены один понижающий трансформатор и два преобразовательных трансформатора.
3. Включены два понижающих трансформатора и один преобразовательный трансформатор.
4. Включены два понижающих и два преобразовательных трансформатора.

На рис. 1 представлен фрагмент результата электрического расчета системы тягового электроснабжения (СТЭ) на фидерной зоне Просвет — Малиновка Южно-Уральской железной дороги при включенном одном понижающем и одном преобразовательном трансформаторах.

Время расчета, макс. начало	270;	продолж. 60; шаг 1,0
Температура воздуха, °С	40	
Использованы границы движ.	пулей	1-го, 2-го
Расход энергии, кВт·ч на тягу	4606;	потери в тяг. сети 179 (3,9%)
рекуперация	0	
Ограничивающий ток, выпрмн. А	2233	ЭЧЗ Просвет
Огр. коэфф. нагрузки выпрмн.	0,71	(доп. 1,5 2 мн)
преобразовательный тр-р	0,67	(доп. 1,5 5 мн) ЭЧЗ Просвет
понижающий тр-р	0,61	(доп. 2,0 1 мн) ЭЧЗ Малиновка
Напряжения, В: максимальное	3358	1-й пль зоны Просвет - Малиновка поезд № 27 на км 340,68 в 236 мн
среднее 3-мн	3363	1-й пль зоны Просвет - Малиновка поезд № 27 на км 339,73
Огр. темпер., °С: в конг. сети	47	(доп. 90° 20 мн) Ф5 ЭЧЗ Просвет
в отсасывающей линии	41	(доп. 90° 20 мн) ЭЧЗ Просвет

Рис. 1. Основные характеристики участка (включены один понижающий и один преобразовательный трансформаторы)

Так как в основных характеристиках участка при вышеуказанных вариантах расчета изменяются только ограничивающие коэффициенты нагрузок выпрямителя, преобразовательного и понижающего трансформаторов, то их фрагменты не представляются. Изменение ограничивающих коэффициентов происходит из-за изменения количества включенных трансформаторов.

В табл. 1 сведены фрагменты результатов электрического расчета расхода и потери электрической энергии межподстанционной зоны Просвет — Малиновка для различных вариантов расчета.

Результаты электрического расчета расхода ЭЭ на тягу, потерь ЭЭ в тяговой сети в головном понижающем и преобразовательном трансформаторах представлены в табл. 2.

Из табл. 2 следует, что при увеличении числа включенных в работу трансформаторов потери ЭЭ от токов нагрузки уменьшаются, потери ЭЭ холостого хода увеличиваются, при этом расход электрической энергии на тягу при различных режимах работы трансформаторов остается неизменным. Следовательно, потери в головном понижающем и преобразовательном трансформаторах в расчетах по программе «КОРТЭС» не учитываются в расходе ЭЭ на тягу. В расходе ЭЭ на тягу учитываются только потери ЭЭ в тяговой сети, куда входят потери ЭЭ в контактной сети, питающих линиях и цепи обратного тока.

Таблица 1

**Расход и потери электроэнергии при различном включении понижающих и преобразовательных трансформаторов**

Условия электрического расчета	Фрагмент результата расчета расхода и потери электрической энергии																														
Включены один понижающий и один преобразовательный трансформатор	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Наименования энергосистем</th> <th>Приём</th> <th>Возврат</th> <th colspan="2">Потери в тр-рах</th> </tr> <tr> <th>Подстанции</th> <th></th> <th></th> <th>нагруз.</th> <th>х. х.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>—</td> <td>4606</td> <td>-</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Просвет</td> <td>2442</td> <td>-</td> <td>18</td> <td>54</td> </tr> <tr> <td>Малиновка</td> <td>2164</td> <td>-</td> <td>14</td> <td>54</td> </tr> <tr> <td>Всего по участку</td> <td>4606</td> <td>-</td> <td>32</td> <td>108</td> </tr> </tbody> </table>	Наименования энергосистем	Приём	Возврат	Потери в тр-рах		Подстанции			нагруз.	х. х.	—	4606	-			Просвет	2442	-	18	54	Малиновка	2164	-	14	54	Всего по участку	4606	-	32	108
Наименования энергосистем	Приём	Возврат	Потери в тр-рах																												
Подстанции			нагруз.	х. х.																											
—	4606	-																													
Просвет	2442	-	18	54																											
Малиновка	2164	-	14	54																											
Всего по участку	4606	-	32	108																											
Включены один понижающий и два преобразовательных трансформатора	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Наименования энергосистем</th> <th>Приём</th> <th>Возврат</th> <th colspan="2">Потери в тр-рах</th> </tr> <tr> <th>Подстанции</th> <th></th> <th></th> <th>нагруз.</th> <th>х. х.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>—</td> <td>4606</td> <td>-</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Просвет</td> <td>2442</td> <td>-</td> <td>12</td> <td>76</td> </tr> <tr> <td>Малиновка</td> <td>2164</td> <td>-</td> <td>10</td> <td>76</td> </tr> <tr> <td>Всего по участку</td> <td>4606</td> <td>-</td> <td>22</td> <td>152</td> </tr> </tbody> </table>	Наименования энергосистем	Приём	Возврат	Потери в тр-рах		Подстанции			нагруз.	х. х.	—	4606	-			Просвет	2442	-	12	76	Малиновка	2164	-	10	76	Всего по участку	4606	-	22	152
Наименования энергосистем	Приём	Возврат	Потери в тр-рах																												
Подстанции			нагруз.	х. х.																											
—	4606	-																													
Просвет	2442	-	12	76																											
Малиновка	2164	-	10	76																											
Всего по участку	4606	-	22	152																											
Включены два понижающих и один преобразовательный трансформатор	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Наименования энергосистем</th> <th>Приём</th> <th>Возврат</th> <th colspan="2">Потери в тр-рах</th> </tr> <tr> <th>Подстанции</th> <th></th> <th></th> <th>нагруз.</th> <th>х. х.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>—</td> <td>4606</td> <td>-</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Просвет</td> <td>2442</td> <td>-</td> <td>14</td> <td>86</td> </tr> <tr> <td>Малиновка</td> <td>2164</td> <td>-</td> <td>12</td> <td>86</td> </tr> <tr> <td>Всего по участку</td> <td>4606</td> <td>-</td> <td>26</td> <td>172</td> </tr> </tbody> </table>	Наименования энергосистем	Приём	Возврат	Потери в тр-рах		Подстанции			нагруз.	х. х.	—	4606	-			Просвет	2442	-	14	86	Малиновка	2164	-	12	86	Всего по участку	4606	-	26	172
Наименования энергосистем	Приём	Возврат	Потери в тр-рах																												
Подстанции			нагруз.	х. х.																											
—	4606	-																													
Просвет	2442	-	14	86																											
Малиновка	2164	-	12	86																											
Всего по участку	4606	-	26	172																											
Включены два понижающих и два преобразовательных трансформатора	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Наименования энергосистем</th> <th>Приём</th> <th>Возврат</th> <th colspan="2">Потери в тр-рах</th> </tr> <tr> <th>Подстанции</th> <th></th> <th></th> <th>нагруз.</th> <th>х. х.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>—</td> <td>4606</td> <td>-</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Просвет</td> <td>2443</td> <td>-</td> <td>9</td> <td>108</td> </tr> <tr> <td>Малиновка</td> <td>2164</td> <td>-</td> <td>7</td> <td>108</td> </tr> <tr> <td>Всего по участку</td> <td>4606</td> <td>-</td> <td>16</td> <td>216</td> </tr> </tbody> </table>	Наименования энергосистем	Приём	Возврат	Потери в тр-рах		Подстанции			нагруз.	х. х.	—	4606	-			Просвет	2443	-	9	108	Малиновка	2164	-	7	108	Всего по участку	4606	-	16	216
Наименования энергосистем	Приём	Возврат	Потери в тр-рах																												
Подстанции			нагруз.	х. х.																											
—	4606	-																													
Просвет	2443	-	9	108																											
Малиновка	2164	-	7	108																											
Всего по участку	4606	-	16	216																											

Таблица 2

**Потери и расход ЭЭ на тягу**

№ расчета	Включены понижающие трансформаторы	Включены преобразовательные трансформаторы	Расход ЭЭ на тягу по счетчикам ЭПС, кВт·ч	Потери в трансформаторах, кВт·ч		Потери в тяговой сети	
				Потери нагрузки	Потери Х.Х.	кВт·ч	%
1	1	1	4606	32	108	179	3,9
2	1	2	4606	22	152	179	3,9
3	2	1	4606	26	172	179	3,9
4	2	2	4606	16	216	179	3,9

По расчетам, приведенным в табл. 2, в программе «КОРТЭС» указаны:

$A_{\text{ЭПС}}$  — расход электроэнергии по счетчикам ЭПС (4606 кВт·ч);

$\Delta A_{\text{ТС, \%}}$  — потери в тяговой сети в кВт·ч и в % (179 и 3,9%), что соответствует расчету

$$\Delta A_{\text{ТС, \%}} = \frac{179}{4606} \cdot 100 = 3,9\%.$$

Таким образом, потери ЭЭ в трансформаторах действительно не входят в программе «КОРТЭС» в расход ЭЭ на тягу.

Учитывая, что нагрузочные потери ЭЭ в понижающем трансформаторе зависят от температуры нагрева обмоток, создаваемой токами нагрузки других потребителей (нетяговые потребители), расчет потерь ЭЭ от токов нагрузки в понижающем трансформаторе затруднен и в расчете  $\Sigma A$  не приводится, но приводятся потери ЭЭ холостого хода, тогда формула (1) расхода ЭЭ принимает вид



$$\Sigma A = A_{\text{ТП}} + \Delta A_{\text{ХХ,ПТ}} + \Delta A_{\text{ПР,Т}} \quad (2)$$

На основании полученных результатов предлагается методика определения потерь электрической мощности в преобразовательном трансформаторе.

## Методика расчета потерь электрической мощности для преобразовательного трансформатора

Определение потерь электрической мощности в преобразовательном трансформаторе производится в следующей последовательности:

1. Для преобразовательного трансформатора:
  - а) принимаем номинальные потери мощности холостого хода и короткого замыкания;
  - б) определяем коэффициент нагрузки преобразовательного трансформатора по результатам электрического расчета СТЭ;
  - в) определяем потери мощности короткого замыкания преобразовательного трансформатора с учетом коэффициента нагрузки.
2. Для участка:
  - г) определяем суммарные потери мощности короткого замыкания преобразовательного трансформатора на всем участке;
  - д) определяем суммарные потери мощности холостого хода преобразовательного трансформатора на всем участке;
  - е) определяем общие потери мощности в преобразовательных трансформаторах тяговых подстанций (ТП) участка.

Условия расчета:

1. На каждой тяговой подстанции в работе находятся два преобразовательных трансформатора.

2. В существующей программе «КОРТЭС» указан ограничивающий коэффициент нагрузки для одного преобразовательного трансформатора, следовательно, в расчете необходимо указать потери короткого замыкания для двух преобразовательных трансформаторов на всем участке.

3. Учитывая, что в работе на ТП находятся два преобразовательных трансформатора, необходимо умножить номинальные потери мощности холостого хода на два.

На тяговых подстанциях участка могут находиться трансформаторы различных типов, поэтому расчет производится для каждого типа преобразовательного трансформатора.

Из справочника [2] принимаем значения потерь мощности холостого хода  $P_{\text{ХХ}}$  и потерь мощности короткого замыкания  $P_{\text{КЗ}}$  трансформаторов. Для ТРДП-16000 (регулируемый трансформатор)  $P_{\text{ХХ}} = 19$  кВт;  $P_{\text{КЗ}} = 83$  кВт.

В табл. 3 представлены потери мощности холостого хода регулируемых преобразовательных трансформаторов для тяговых подстанций Просвет и Малиновка.

Таблица 3

Потери мощности холостого хода регулируемых преобразовательных трансформаторов участка Просвет — Малиновка

Наименование тяговой подстанции	Тип преобразовательного трансформатора	Номинальные потери ЭЭ холостого хода, кВт	
		Для одного ПТ	Для двух ПТ
Просвет	ТРДП-16000	19	38
Малиновка	ТРДП-16000	19	38
<b>Суммарное значение</b>		<b>38</b>	<b>76</b>

В табл. 4 представлены 30-минутные ограничивающие коэффициенты нагрузки для одного регулируемого преобразовательного трансформатора участка Просвет — Малиновка для поездов в пакете в нечетном направлении: 6300 т (ВЛ 10) — 9000 т (1,5×ВЛ 10) — 6300 т (ВЛ 10) и поездов в четном: 5000 т (ВЛ 10) с межпоездным интервалом 10 минут. Умножим потери мощности короткого замыкания на коэффициент нагрузки и сведем результаты в ту же таблицу.

Таблица 4

Коэффициенты нагрузки и потери мощности короткого замыкания регулируемых преобразовательных трансформаторов для поездов в пакете массой 6300 т — 9000 т — 6300 т с межпоездным интервалом 10 минут

Наименование тяговой подстанции	Коэффициент нагрузки К	Номинальные потери КЗ $P_{\text{КЗН}}$ , кВт	Потери КЗ, кВт $P_{\text{КЗ}} = K \times P_{\text{КЗН}}$
Просвет	0,21	83	17,43
Малиновка	0,19	83	15,77
<b>Суммарное значение, умноженное на два трансформатора</b>			<b>33,2</b>

Определим потери мощности для тяговых подстанций Просвет и Малиновка с регулируемыми преобразовательными трансформаторами:

$$\Delta A_{\text{ПР,Т}} = P_{\text{ХХ,Н}} + P_{\text{КЗ}}; \quad (3)$$

$$\Delta A_{\text{ПР,Т}} = 76 + 33,2 = 109,2 \text{ кВт.}$$

В ходе выполнения электрического расчета системы тягового электроснабжения постоянного тока выявлена неточность в программе «КОРТЭС», а именно: программа не учитывает в расходе электрической энергии на тягу потери в преобразовательном трансформаторе. Предложена методика определения потерь мощности в преобразовательном и понижающем трансформаторах. Для электрического расчета СТЭ для межподстанционной зоны Просвет — Малиновка Южно-Уральской железной дороги часовые потери мощности в преобразовательном трансформаторе составили 109,2 кВт. Тогда с учетом предложенной ме-

тодики суммарные потери по счетчикам тяговых подстанций составят:

$$\Sigma A = 4606 + 179 + 109,2 + 18 \cdot 2 = 4930,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Полученное значение учитывает расход электрической энергии на тягу (4606 кВт·ч), потери в тяговой сети (179 кВт), потери холостого хода в понижающем ( $18 \cdot 2 = 36$  кВт для трансформатора ТДН-16000/110, эксплуатируемого на тяговых подстанциях Просвет и Малиновка) и преобразовательном трансформаторе (109,2 кВт). **ИТ**

### Список литературы

1. Аржанников Б. А. Тяговое электроснабжение постоянного тока скоростного и тяжеловесного движения поездов : монография / Б. А. Аржанников. — Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2012. — 207 с. — ISBN 978-5-94614-235-9.
2. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. Екатеринбург : ИД «Урал Юр Издат», 2013. — 240 с.
3. Аржанников Б. А. Концепция усиления системы тягового электроснабжения постоянного тока 3,0 кВ : монография / Б. А. Аржанников, И. О. Набойченко. — Екатеринбург : УрГУПС, 2015. — 258 с. — ISBN 978-5-94614-337-0.



**Дмитрий Николаевич  
Смердов**  
Dmitri N. Smerdov



**Алексей Олегович  
Клементьев**  
Alexey O. Klementiev

## Отечественный и зарубежный опыт экспериментальных исследований изгибаемых бетонных элементов, армированных полимерной композиционной арматурой

### Domestic and foreign experience of experimental research of bent concrete elements reinforced with polymer composite reinforcement

#### Аннотация

Данная статья посвящена вопросам применения в изгибаемых бетонных элементах стержневой полимерной композиционной арматуры в качестве внутренней рабочей арматуры. Во время эксплуатации в несущих элементах мостовых сооружений появляются различного рода дефекты и повреждения, образование которых чаще всего связано с агрессивным воздействием окружающей среды. Повышение долговечности несущих железобетонных конструкций транспортных сооружений и уменьшение затрат на их содержание — это проблема, требующая комплексного решения. Учитывая то, что одним из ведущих параметров обеспечения долговечности железобетонных конструкций мостовых сооружений является сохранность в них рабочей арматуры, замена стержневой металлической арматуры на композиционную имеет первостепенное значение.

**Ключевые слова:** изгибаемый бетонный элемент, транспортные сооружения, композиционная арматура, воздействие окружающей среды, экспериментальные исследования, долговечность, дефект, повреждение, металлическая арматура.

#### Abstract

This article focuses on the application of concrete elements in the bent rod polymer composite reinforcement as an internal effective reinforcement. Different kinds of defects and damage in the supporting elements of bridges appear during operation, the formation of the defects is most often associated with an aggressive environmental exposure. Increasing of longevity of concrete bearing structures of transport constructions and reducing of their maintenance costs - it is a problem that requires a comprehensive solution. Taking into account that one of the major parameters of durability of reinforced concrete structures of bridges is to keep an effective reinforcement in them, replacement of the core metal fitting on the composite is of paramount importance.

**Keywords:** bendable concrete element, transport facilities, composite reinforcement, environmental influences, experimental studies, durability, defect, damage, metal fittings.

DOI:10.20291/2311-164X-2016-3-65-68

#### Авторы Authors

**Дмитрий Николаевич Смердов**, канд. техн. наук, заведующий кафедрой «Мосты и транспортные тоннели» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: DNSmerdov@mail.ru | **Алексей Олегович Клементьев**, ассистент кафедры «Мосты и транспортные тоннели» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: AOKlementev@mail.ru

**Dmitri Nikolaevitch Smerdov**, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department "Bridges and transport tunnels" of the Ural State University of Railway Engineering (USURT), Ekaterinburg; e-mail: DNSmerdov@mail.ru | **Alexey Olegovitch Klementiev**, Assistant of the Department "Bridges and transport tunnels" of the Ural State University of Railway Engineering (USURT), Ekaterinburg; e-mail: AOKlementev@mail.ru

Идея создания композиционной арматуры и технологии ее производства была выдвинута еще в СССР в феврале 1940 г. Началу серийного производства помешало военное положение. Первые исследования по применению композиционной арматуры в отечественной и зарубежной практике начались в 70-х годах XX века. Вопросы применения полимерной композиционной арматуры в бетонных элементах в качестве армирующего материала занимались многие российские и зарубежные специалисты: сотрудники ФГУП «Научно-исследовательский институт мостов и дефектоскопии»; Рахмонов А. Д. (ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола); Климов Ю. А., Солдатченко А. С., Витковский Ю. А. (Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина); сотрудники научно-исследовательского центра «Строительство» (г. Москва); Степанова В. Ф., Степанов А. Ю., Красовская Г. М. (НИИЖБ, г. Москва) и др.

На протяжении последних сорока лет активно изучается применение стержневой полимерной композиционной арматуры за рубежом — в США, странах ЕС, Китае, Японии, где ее производство и использование закреплено на уровне норм проектирования и государственных стандартов. Это связано с тем, что полимерная композиционная арматура имеет ряд преимуществ в сравнении с традиционным материалом — металлом [1].

В США и Европе нормативная база для проектирования бетонных элементов мостовых сооружений с композиционной арматурой была разработана в 2001 г. учеными из Лондона и Нью-Йорка в Руководстве по проектированию комбинированных автодорожных мостов («Design Guide for Composite Highway Bridges») [2], также были разработаны стандарты по производству композиционной арматуры.

В России первые технические условия на стеклопластиковую и базальтопластиковую арматуру периодического профиля разработаны НИИЖБ совместно с ООО «АСП» в 2004 г. по результатам работы, выполненной по заказу правительства города Москвы, и утверждены в 2007 г. [3]. Область применения была ограничена, стеклопластиковую и базальтопластиковую арматуру не рекомендовалось применять в изгибаемых конструкциях. В настоящий момент производство полимерной композитной арматуры в России регламентируется ГОСТ 31938–2012 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия» [4]. В 2014 г. Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации был утвержден свод правил СП 164.1325800.2014 «Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования» [5], разработанный ОАО НИЦ «Строительство», НИИЖБ им. А. А. Гвоздева,

ЗАО «Триада-Холдинг», ЗАО «ХК «Композит», в котором установлены требования к расчету железобетонных конструкций, усиленных или восстановленных системами внешнего армирования из композитных материалов. На сегодняшний день свод правил на проектирование изгибаемых бетонных конструкций, армированных композиционной арматурой, находится на стадии доработки, однако действующие нормативные документы не запрещают применение композиционных материалов при проектировании транспортных сооружений [6].

К настоящему моменту мировой объем рынка в секторе полимерных композиционных материалов приблизился к 65 млрд евро, при этом общий объем мирового производства полимерных композиционных материалов составил 8 млн тонн. В России объем потребления полимерных композиционных материалов составляет 0,5–2,0% от общемирового потребления. На рис. 1 приведены данные мирового объема в секторе полимерных композиционных материалов. Как видно из рис. 1, на основе стекловолокна объем рынка составляет 10,25 млн тонн, а на основе углеволокна объем рынка составляет 0,045 млн тонн. При этом доля российского рынка составляет 0,3–0,5%.

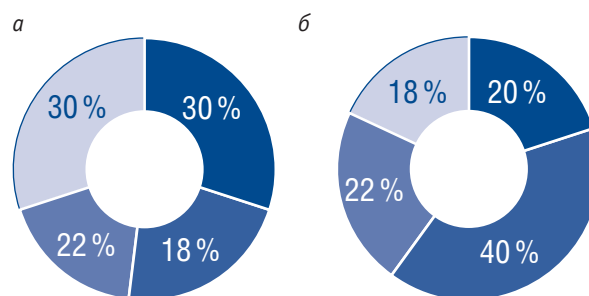


Рис. 1. Мировой рынок композитов:  
 а — объем рынка на основе стекловолокна;  
 б — объем рынка на основе углеволокна;  
 ■ — Китай; ■ — Евросоюз; ■ — США; ■ — другие

Применение полимерных композиционных материалов при строительстве и эксплуатации сооружений различного назначения в мире достаточно распространено. Лидирующие позиции по использованию композиционных материалов занимают Китай и Евросоюз (27 стран). Доля российского рынка в настоящее время растет и приближается к 0,5125 млн тонн.

Сотрудниками ФГУП «Научно-исследовательский институт мостов и дефектоскопии» Федерального агентства железнодорожного транспорта были проведены статические экспериментальные исследования, целью которых являлась оценка несущей способности трех бетонных балок длиной 18 м, армированных стальной, стеклопластиковой и углепластиковой арматурой. Схемы армирования и геометрические параметры балок представлены на рис. 2.

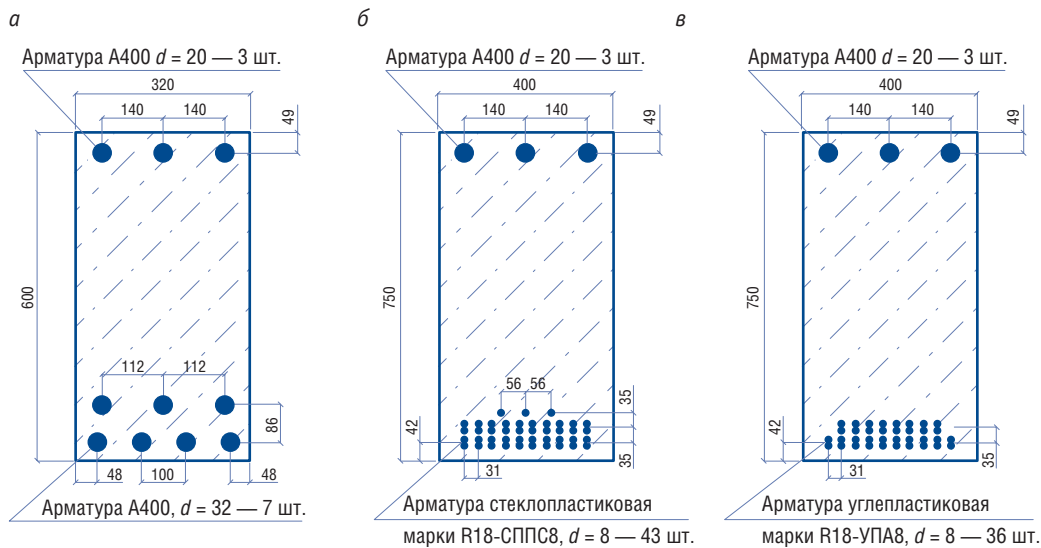


Рис. 2. Схемы армирования балок:  
 а — металлической арматурой; б — полимерной композиционной стеклопластиковой арматурой;  
 в — углепластиковой арматурой

Испытания бетонных образцов статической нагрузкой проводились согласно ГОСТ 8829–94 [7] по схеме однопролетной балки на двух опорах расчетным пролетом 17,4 м, зона чистого изгиба в середине пролета создавалась за счет распределительной траверсы. Расстояние между точками приложения нагрузки от распределительной траверсы составляло 1,5 м. Нагрузка прикладывалась без эксцентриситета относительно продольной оси балки.

В ходе экспериментальных исследований фиксировались прогиб балки в мм, величина передаваемой нагрузки в тоннах, раскрытие трещин в бетоне в растянутой зоне и фактическая прочность бетона в день испытаний. Оценка прочности, жесткости и трещиностойкости осуществлялась на основании сопоставленных фактических значений испытательной нагрузки, прогибов и величины раскрытия трещин под испытательной нагрузкой с расчетными значениями.

В результате проведенных экспериментальных исследований максимальная испытательная нагрузка составила: 30 тс — для бетонного образца, армированного металлической арматурой; 15,2 тс — для бетонного образца, армированного углепластиковой арматурой; 5 тс — для образца, армированного стеклопластиковой арматурой (рис. 3).

Прогиб в середине расчетного пролета для образца с металлической арматурой составил 23,57 см, при этом ширина раскрытия трещин  $\leq 0,10$  см, прогиб образца со стеклопластиковой арматурой — 17,2 см, с углепластиковой — 24,28 см.

Полученные в ходе экспериментальных исследований данные свидетельствуют о том, что стержневая композиционная арматура продержалась в теле бетона, не достигнув расчетного напряжения. Для того что-

бы избежать проскальзывания арматуры, необходимо разработать систему анкеровки в теле бетона.

В Белгородском государственном технологическом университете им. В. Г. Шухова проводились экспериментальные исследования образцов бетонных балок, в растянутой зоне армированных стеклопластиковыми стержнями [8]. Испытания бетонных образцов статической нагрузкой проводились согласно ГОСТ 8829–94 [7]. Опытными образцами являлись бетонные балки с поперечным сечением 80×120 мм и полной длиной 1200 мм, в растянутой зоне армированные стержнями стальной арматуры класса А400 и стеклопластиковыми стержнями с песчаным покрытием Rokbar. Схема армирования опытных образцов приведена на рис. 4, а, б.

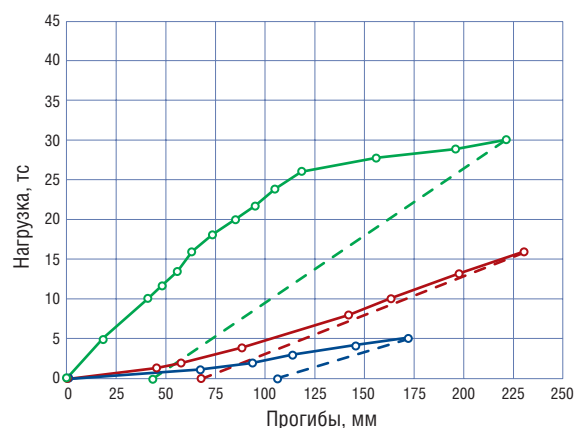


Рис. 3. Графики «нагрузка — прогиб» для бетонных образцов, армированных:  
 — металлической арматурой;  
 — углепластиковой арматурой;  
 — стеклопластиковой арматурой

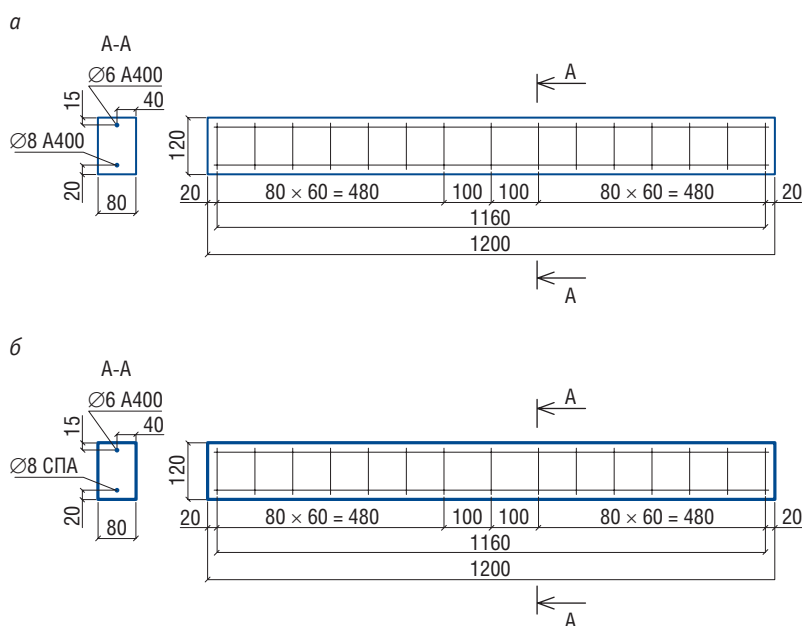


Рис. 4. Схема армирования опытных образцов:  
 а — бетонные образцы, армированные металлической арматурой;  
 б — бетонные образцы, армированные стеклопластиковой арматурой

По результатам экспериментальных исследований было выявлено, что бетонные образцы, армированные в растянутой зоне стеклопластиковой арматурой, способны воспринимать меньшую нагрузку при одинаковой площади рабочей арматуры и обладают меньшей жесткостью и трещиностойкостью в сравнении с железобетонными образцами.

Изученный выше опыт отечественных и зарубежных экспериментальных исследований показал, что требуется искать более эффективные конструктивные решения по применению полимерной композиционной арматуры в изгибаемых бетонных элементах. **ИТ**

## Список литературы

1. Клементьев А. О., Смердов М. Н. Опыт применения неметаллической композитной арматуры в железобетонных пролетных строениях мостов // Вестник УрГУПС. — Екатеринбург : УрГУПС, 2013. — № 4 (20). — С. 74–80. — ISSN 2079–0392.
2. Design Guide for Composite Highway Bridges. First published 2001 by Spon Press 11 New Fetter Lane, London EC4P 4EE. 314 p.
3. ТУ 5769-248-35354501-2007. Арматура неметаллическая композитная периодического профиля. — Введ. 2008-01-01. — М., 2007. — 12 с.
4. ГОСТ 31938–2012. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия. — М. : Стандартинформ, 2014. — 35 с.
5. СП 164.1325800.2014. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования. — М., 2014. — 52 с.
6. СП 35.13330.2011 СНиП 2.05.03–84. Мосты и трубы / ОАО «ЦНИИС». — М., 2011. — 340 с.
7. ГОСТ 8829–94. Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагрузением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости. — М., 2016. — 28 с.
8. Фролов Н. В. Экспериментальные исследования образцов армобетонных балок, в растянутой зоне армированных стеклопластиковыми стержнями // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. — Белгород : БГТУ им. В. Г. Шухова, 2016. — № 2. — С. 46–50. — ISSN 2071–7318.

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

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

Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС

ИНН-КПП 6670317893/667001001

ОГРН 1156600001470

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

Р/с 40703810863010000192

в ПАО КБ «УБРИР» филиал ССБ

к/с 30101810900000000795

БИК 046577795

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

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

**Уважаемые руководители инновационных компаний и предприятий!**

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

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

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

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

<b>Извещение</b>	<p><b>Получатель:</b> Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС <b>КПП:</b> 667001001 <b>ИНН:</b> 6670317893 <b>ОКТМО:</b> 65701000 <b>Р/сч.:</b> 40703810863010000192 <b>в:</b> ПАО КБ «УБРИР» филиал ССБ <b>БИК:</b> 046577795 <b>К/сч.:</b> 30101810900000000795 <b>Код бюджетной классификации (КБК):</b> _____ <b>Платеж:</b> Пожертвование для поддержки научных журналов УрГУПС <b>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> Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС <b>КПП:</b> 667001001 <b>ИНН:</b> 6670317893 <b>ОКТМО:</b> 65701000 <b>Р/сч.:</b> 40703810863010000192 <b>в:</b> ПАО КБ «УБРИР» филиал ССБ <b>БИК:</b> 046577795 <b>К/сч.:</b> 30101810900000000795 <b>Код бюджетной классификации (КБК):</b> _____ <b>Платеж:</b> Пожертвование для поддержки научных журналов УрГУПС <b>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>

Подписка на 2017 год.

Периодичность — 4 номера в год.



ф. СП-1

**АБОНЕМЕНТ**

на ~~газету~~  
журнал

85022

(индекс издания)

**Инновационный транспорт**

(наименование издания)

Количество комплектов:

на 2017 год по месяцам:

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

**Куда**

(почтовый индекс)

(адрес)

**Кому**

(фамилия, инициалы)

**ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА**

на ~~газету~~  
журнал

85022

(индекс издания)

**Инновационный транспорт**

(наименование издания)

Стоимость

подписки

руб. \_\_\_\_\_ коп. \_\_\_\_\_

Количество комплектов:

переадресовки

руб. \_\_\_\_\_ коп. \_\_\_\_\_

на 2017 год по месяцам:

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

**Куда**

(почтовый индекс)

(адрес)

**Кому**

(фамилия, инициалы)



# Технические требования и рекомендации к оформлению статей

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

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

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

## 3. Объем статьи не более 15 страниц.

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

## 5. Требования к разметке и форматированию текста.

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

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

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

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

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

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

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



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 токосъема 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)

