

ИННОВАЦИОННЫЙ ТРАНСПОРТ

I N N O T R A N S

№2 (24)

июнь 2017

**Методика определения размеров
глушителя болида FS USURT**

С. 59



Проект высокоскоростной
сетевой учебно-научной
лаборатории УрГУПС

О выборе
рациональных схем
доставки товаров

Мобильный станок для обточки
бандажей колесной пары
моторного вагона электропоезда



Общероссийская общественная организация РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ТРАНСПОРТА



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

Располагает 12 региональными отделениями и имеет большой опыт работы в области транспортного планирования и развития транспортных систем регионального и муниципального уровня.

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

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

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

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ:

Центральное отделение:
107078, г. Москва, ул. Маши Порываевой, д. 34.
Тел.: +7 (495) 789-98-72, факс: +7 (495) 789-98-71.
Сайт: www.ratrf.ru

Уральское межрегиональное отделение:
620034 г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, УрГУПС.
Тел.: 8-922-205-95-92, факс: (343) 221-24-67.
E-mail: Anna@usurt.ru

С НАМИ СОТРУДНИЧАЮТ:



Минтранс РФ

РИО



Министерство транспорта
и дорожного хозяйства
Волгоградской области



АЭРОФЛОТ

СКОРОСТНЫЕ
МАГИСТРАЛИ

Инновационный транспорт

Научно-публицистическое издание

№ 2 (24), 2017 г.

Издается с ноября 2011 г.

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

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

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

Редактирование и корректура — Елена Владимировна Чагина

Верстка и дизайн — Андрей Викторович Трубин

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

Веб-сайт: www.usurt.ru, 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 «Типография для Вас».

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

Тел./факс: (343) 211-0-300. E-mail: ooo_for_you@mail.ru

Подписной индекс издания в общероссийском каталоге «Пресса России» — 85022. Цена 363 руб.

DOI: 10.20291/2311-164X.

Дата выхода в свет 30.06.2017. Печать офсетная.

Тираж 500 экз. (1-й з-д 1–150). Заказ № 1097

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

© Общероссийская общественная организация «Российская академия транспорта», 2017

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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

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

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

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

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

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

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

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

Innotrans

Scientific-and-nonfiction edition

№ 2 (24), 2017

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 — Андрей 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. Price 363 rub.

Date of issue 30.06.2017. Offset printing.

Circulation 500 copies.

© FGBOU VO Ural State University of Railway Transport, 2017

© All-Russian Public Organisation "Russian Academy of Transport", 2017

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

Организация производства (транспорт)

<i>Петров М. Б., Кожов К. Б.</i> Новые подходы к прогнозированию в целях управления развитием больших систем территориальной инфраструктуры	3
<i>Мицук И. В., Галкин А. Г., Цихалевский И. С.</i> Проект высокоскоростной сетевой учебно-научной лаборатории на принципах сплит-системы	11

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

<i>Ларин О. Н., Тарасов Д. Э.</i> О выборе рациональных схем доставки товаров	15
<i>Цариков А. А., Бачинина А. В., Тапасева О. Ю.</i> Анализ основных показателей развития сетей и маршрутов пассажирского транспорта городов России	20
<i>Журавская М. А., Шевцов А. А., Морозова О. Ю.</i> Оценка значимости объектов мультимодальной транспортной сети на территориях с суровыми климатическими условиями	28

Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

<i>Джаббаров С. Т., Мирахмедов М., Мардонов Б.</i> К вопросу выбора параметров проектирования объектов инфраструктуры высокоскоростных железных дорог	35
<i>Шкодун П. К., Долгова А. В.</i> Особенности реализации алгоритма нечеткого вывода при оценке качества ремонта коллекторно-щеточного узла тяговых электродвигателей подвижного состава	39
<i>Буйносов А. П., Лаптев С. И.</i> Новые варианты устройства стыковки железнодорожных рельсов	43
<i>Буйносов А. П., Умылин И. В.</i> Мобильный станок для обточки бандажей колесной пары моторного вагона электропоезда	46
<i>Бунзя А. В.</i> К расчету эффективности применения частотного регулирования насосов железнодорожной станции	51

Управление процессами перевозок

<i>Маринин С. А.</i> Влияние окон для ремонтных и строительно-монтажных работ на участковую скорость движения грузовых поездов	55
--	----

Эксплуатация автомобильного транспорта

<i>Домашов Н. М., Неволин Д. Г.</i> Методика определения геометрических размеров глушителя болида «Формула студент» Уральского государственного университета путей сообщения	59
<i>Сикорский Е. С., Неволин Д. Г.</i> Расчет параметров выпускной системы болида «Формула студент» Уральского государственного университета путей сообщения	66

CONTENTS

The organization of production (transport)

<i>Mikhail B. Petrov, Konstantin B. Kozhov.</i> New approaches to forecasting for the management of the development of large territorial infrastructure systems	3
<i>Igor V. Mitsuk, Alexander G. Galkin, Igor S. Tsikhalevsky.</i> The project of a high-speed network training and research laboratory on the principles of the split system	11

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

<i>Oleg N. Larin, Dmitri E. Tarasov.</i> On the choice of rational schemes for the delivery of goods	15
<i>Aleksey A. Tsarikov, Alena V. Bachinina, Olga Yu. Tapaseva.</i> Analysis of the main indicators of the development of nets and routes of passenger transport in the cities of Russia	20
<i>Marina A. Zhuravskaya, Alexander A. Shevtsov, Olga Y. Morozova.</i> Assessment of the importance of multimodal transport network facilities in areas with harsh climatic conditions	28

Rolling stock, hauling operation and electrification

<i>Saidburkhan T. Djabbarov, M. Mirakhmedov, B. Mardonov.</i> To the issue of choosing the design parameters rail infrastructure facilities for high-speed lines	35
<i>Pavel K. Shkodun, Anna V. Dolgova.</i> Special aspects of the implementation of the fuzzy inference algorithm in assessing the quality of repair of the collector-brush unit of traction electric motors of rolling stock	39
<i>Alexandr P. Buiosov, Laptev S. Igorevich.</i> New variants of the railroad rails joining device	43
<i>Alexandr P. Buiosov, Ilya V. Umylin.</i> Mobile machine for turning the tires of the mounted wheels of a motor wagon of an electric train	46
<i>Andrei V. Bunza.</i> To the calculation of the effectiveness of the application of frequency control of pumps of a railway station	51

Management of transportation processes

<i>Sergey A. Marinin.</i> Influence of windows for installation and construction works on the service speed of freight trains	55
---	----

Operation of motor transport

<i>Nikita M. Domashov, Dmitry G. Nevolin.</i> Method for determining the geometric dimensions of the muffler bolide "Formula Student" of the Ural State University of Railway Transport	59
<i>Yevgeny S. Sikorsky, Dmitry G. Nevolin.</i> Calculation of the parameters of the final bolide system "Formula Student" of the Ural State University of Railway Transport	66



**Михаил Борисович
Петров**
Mikhail B. Petrov



**Константин Борисович
Кожов**
Konstantin B. Kozhov

Новые подходы к прогнозированию в целях управления развитием больших систем территориальной инфраструктуры

New approaches to forecasting for the management of the development of large territorial infrastructure systems

Аннотация

В статье показана возрастающая значимость сценарного прогнозирования потребности в услугах крупных системно организованных инфраструктур. Рассмотрены аналогии в подходах к управлению развитием на транспорте и в энергетике. На примере электроэнергетики проанализированы методы прогнозирования. Предложена методическая схема прогнозирования, адекватная современным условиям развития экономики страны и регионов.

Ключевые слова: инфраструктура, большие системы, прогнозирование, управление развитием.

DOI:10.20291/2311-164X-2017-2-3-10

Авторы Authors

Михаил Борисович Петров, д-р техн. наук, заместитель директора по научной работе Института экономики Уральского отделения РАН, Екатеринбург | Константин Борисович Кожов, канд. техн. наук, старший научный сотрудник Центра развития и размещения производительных сил Института экономики Уральского отделения РАН, Екатеринбург

Mikhail Borisovich Petrov, Doctor of Technical Sciences, Deputy Director for Research Institute of Economics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg | Konstantin Borisovich Kozhov, Cand. of Tech. Sciences, Senior Researcher, Center for Development and Placement of Productive Forces, Institute of Economics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg

На этапе медленного перехода от стагнации к возобновлению развития особую значимость приобретает рациональная политика в отношении важнейших производственных инфраструктур, прежде всего, транспортно-логистической инфраструктуры и систем энергетики. Обострились противоречия в условиях воспроизводства таких инфраструктур. С одной стороны, они выполняют жизнеобеспечивающие и бизнес-образующие функции. И в этом смысле их приоритетность для развития экономики не ставится под сомнение. Но с другой стороны, большим инфраструктурам присущи все проблемы, с которыми сталкивается большинство отраслей материального производства: недостаточность ресурсов для развития, старение фондов, резкое замедление процессов обновления техники на фоне усиления структурной диспропорциональности как внутри этих систем (например, по видам транспорта, по типам энергообеспечения и первичным энергоносителям), так и в состоянии их потребителей, а также по территориям.

Как железнодорожная транспортная система, так и системы энергетики в результате перемен в их структуре и статусе оказались во многом дезорганизованными с утратой системного эффекта для народного хозяйства. Аналогии между железнодорожным комплексом и энергетикой легко просматриваются и в части их организационно-экономических проблем, и в характере их взаимодействия с обслуживаемыми субъектами. Возросла нагрузка на экономику в виде завышенных транспортных издержек и энергетических тарифов. На железнодорожном транспорте — вследствие низкой эффективности использования транспортных ресурсов, в частности, вагонного парка. В электроэнергетике — как результат ухудшения качества энергетических режимов, ухудшения технического состояния многих элементов, в первую очередь распределительных сетей, нарастания транзакционных издержек при обеспечении электростанций топливом.

Но при всех издержках и моментах неэффективности транспортная и энергетическая системы обладают системообразующим потенциалом в отношении сопряженных с ними производственных систем. В этом качестве они выступают как мощный потенциальный фактор социально-экономического и экономико-технологического развития. Спросом на конечный продукт порождается грузопотребление и грузопредъявление предприятий, их энергопотребление.

Эти величины образуют спрос на продукцию инфраструктур. Встраивая транспортные услуги в экономико-технологические потоки «первичные ресурсы — переработка — производство продукта — потребление», транспортная система способна воздействовать на уровень системной сопряженности в таких межотраслевых системах, оптимизируя их результативность и транспортные затраты и управляя платежеспособным спросом на пе-

ревозки. Такая возможность сегодня может быть усилена через развитие интегрированной транспортно-логистической системы региона. Энергетика аналогично формирует соответствующие затраты по цепочкам технологических межпродуктовых связей. При этом не обязательно эффективными с системных народнохозяйственных позиций будут стратегии и варианты развития с понижающимися транспортоемкостью и энергоемкостью, что увеличивает вариативность развития самих инфраструктурных систем.

При высокой степени общности природы формирования транспортных и энергетических потребностей крупной территории практика их прогнозирования существенно различается. Процессы прогнозирования в сфере энергетики традиционно более развиты, упорядочены и технологичны, чем в сфере транспорта. Основная причина различий — разная степень универсальности и однородности продукта этих двух сопоставляемых систем. Транспортные услуги в потреблении весьма индивидуальны и поставляются некоторым числом альтернативных поставщиков, в первую очередь работающих на разных видах транспорта. Услуги электроэнергетики в виде электропотребления доставляемой до шин потребителей электроэнергии и мощности универсальны, стандартны и однородны. По своему системному статусу и качествам наиболее близки к электроэнергетической системе железнодорожного и отчасти трубопроводного транспорта. Подробнее остановимся преимущественно на экономической природе воздействия систем транспорта и логистики на обслуживаемые регионы, имея в виду в первую очередь системы, включающие в себя в качестве образующего железнодорожный транспорт.

Транспортная система воздействует на экономику региона в двух аспектах: текущее функционирование, то есть транспортное обслуживание региона, и развитие, то есть инвестиции в транспорт, формирующие объемы работ капитального характера, заказов на капиталообразующую продукцию, услуги, сопровождающие капитальное строительство. К оценке приоритетности программ развития транспорта, как и к оценке самой транспортной деятельности, существуют неоднозначные подходы. Так, в условиях экономической рецессии, неустойчивого промышленного роста, недостаточного уровня доходов на территории региона часто высказываются сомнения в необходимости искусственного поддержания намеченных ранее темпов развития транспортных систем, поскольку изыскание и мобилизация инвестиционных ресурсов проблематичны, а темпы освоения грузооборота и пассажирооборота часто оказываются ниже ожидаемых.

Основным показателем измерения объема экономической деятельности в регионе служит суммарная добавленная стоимость всего созданного на его территории объема конечного продукта, то есть валовой ре-

гиональный продукт (ВРП). В него входит и транспортная деятельность в части своей добавленной стоимости, так что ее рост прямо влияет на объем ВРП. При этом транспорт — отрасль с повышенной нормой добавленной стоимости. В общей стоимости его услуг добавленная стоимость составляет от 40–50% на автомобильном транспорте, до 70–75% на железнодорожном и воздушном и свыше 80% на трубопроводном. С точки зрения состава видов перевозок целиком относятся к конечному выпуску региональной транспортной системы пассажирские перевозки, грузовые перевозки по вывозу продукции региона и транзит. Тенденции динамики этих трех видов перевозок однородны тенденциям динамики ВРП. В частности, рост грузовых тарифов может влиять на объем вывозимой продукции аналогично росту производственных издержек по этой продукции. Более сложное и неоднозначное влияние на ВРП оказывают перевозки промежуточной продукции между предприятиями региона. Для экономики и социальной сферы региона благоприятно снижение транспортно-логистических издержек в таких цепях.

Железнодорожный транспорт как отрасль имеет выраженную макросистемную природу, то есть наиболее полный эффект он дает при условии его развития в качестве ядра единой транспортной системы (ЕТС) и ее сегментов таких масштабов, при которых сохраняются существенные системные свойства. Такие сегменты мы называем региональными транспортными системами (РТС). По территориальному масштабу РТС соответствуют макрорегионам, включающим несколько субъектов РФ, таких как Урал, Западная Сибирь и т.д. Отсюда приоритет надрегионального (макрорегионального) критерия в развитии РТС. Если управление развитием транспорта региона строится с учетом такого приоритета, то транспорт в полной мере реализует потенциал влияния на размещение и развитие производительных сил, стимулирует экономический рост. Основа такого влияния — обеспечение рациональных транспортно-логистических затрат в сетях кооперационных взаимодействий.

Такой подход к экономической роли транспортно-логистических систем (ТЛС) и их основы — региональных транспортных систем (РТС) требует расширения задачи прогнозирования транспортных потребностей регионов в направлении учета сценарной многовариантности и обратных связей.

Генерирование сценариев возможно проигрыванием вариантов использования в регионах и межотраслевых межрегиональных комплексах возможностей построения сетей кооперационных взаимодействий, в первую очередь с использованием инструментов программно-целевого управления, государственно-частного партнерства и государственного регулирования [1].

Обратные связи заключаются в том, что новые стадии развития ТЛС и РТС, в принципе проектируемые исходя

из ожидаемой потребности, вызовут с временным лагом дополнительный прирост транспортной потребности.

Статистические методы прогнозирования транспортных потребностей могут применяться на основе изучения структурно-функциональных зависимостей. В качестве исходной экзогенной переменной для регионального транспортного прогнозирования используем показатель регионального валового внутреннего продукта в его структуре. Именно этот показатель выступает основой определения спроса на перевозки, а опосредованно — и спроса на транспортно-логистические услуги. Поскольку создание конечного продукта региона стадийно и связано с потоками сырья и полуфабрикатов между предприятиями региона, спрос на грузовые перевозки увеличивается за счет соответствующей части стоимости промежуточного продукта [2]. С учетом этого прогнозирование транспортных потребностей можно вести также и на основе показателя регионального валового оборота как суммы объемов производства предприятий региона. Авторами проверена высокая корреляция (более 0,85) обоих этих макропоказателей с транспортными потребностями.

Динамика потребностей в перевозках характеризуется, с одной стороны, устойчивостью и инерционностью, а с другой, порожденностью, довольно жесткой зависимостью от динамики и структуры общественного продукта. В периоды с быстрой и подчас непредсказуемой сменой тенденций для анализа и прогноза непригодны трендовые модели, в которых зависимость результативного фактора от времени построена по предыстории (обучающей выборке). Более продуктивно прогнозирование на основе регрессионных моделей экономически содержательных связей грузопотоков с региональными (поузловыми) объемами производства.

Рассматривая породовую структуру перевозок в динамике, можно построить регрессии совокупных транспортных потребностей на объемы производства основных грузообразующих комплексов:

$$B_i = f(Y_i). \quad (1)$$

Объемы производства Y_i входят в общий объем промышленного производства:

$$Y = Y_0 + \sum_i Y_i, \quad (2)$$

где Y — региональный макропоказатель объема производства либо региональный валовой внутренний продукт (ВРП); Y_0 — часть совокупного показателя объема производства, слабо влияющая на грузообразование (так, если переменная — ВРП, то это та его весьма значительная в современных условиях часть, которая не связана с производством товаров); Y_i — суммарный объем производства, рассматриваемый как грузообразующий.

Эконометрические исследования показывают, что достаточно значимыми в модели структуры грузообразования и потребности в транспортно-логистических услугах являются большинство отраслевых комплексов тяжелой промышленности. Для повышения статистического качества подобных моделей рассматриваемые в них показатели могут быть представлены в индексах, что делает модель более чувствительной к тенденциям в структуре региональной экономики.

Содержательная основа представленного здесь подхода в том, что динамика грузообразования, как наблюдаемая, так и прогнозная, объясняется наиболее устойчивыми факторами — экономической активностью, отраслевой (продуктовой) структурой. Показатель моделируется в том числе и с помощью производственных функций, раскрывающих производительность первичных факторов производства, влияние на экономические результаты объема вовлеченных трудовых ресурсов, инвестиций и др.

Суммарный объем транспортной потребности V_i — это величина, к которой стремится емкость регионального транспортного рынка, преобразуемая в спрос на транспортные услуги различных видов и субъектов магистрального, промышленного транспорта. Между последними складываются как отношения взаимодополнения и взаиморезервирования, так и конкурентные отношения. Важнейшая цель транспортной политики и транспортно-экономического регулирования на всех уровнях — преобразование транспортной потребности в платежеспособный спрос на транспортно-логистические услуги путем встраивания услуг транспорта и логистики в цепи кооперации и цепи поставок. Такое встраивание услуг на благоприятных для конкретной транспортной организации условиях — одна из задач ее транспортного маркетинга.

Объем регионального продукта определяет потенциальный спрос на транспортно-логистические услуги и условия формирования ресурсно-технологической базы регионального транспорта. В то же время транспортные услуги, являясь частью регионального продукта, влияют на совокупный объем производства, поэтому в качестве комплексного критерия региональной эффективности роста наращивания транспортной деятельности можно предложить рост вклада перевозочной деятельности в ВРП при условии неубывания его транспортноотдачи.

Таким образом, проекцией задачи экономического роста региона на его транспортно-логистическую систему являются две задачи регулирования ее развития и операционной деятельности. Во-первых, задача вписания транспортно-логистических услуг в цепочки кооперации грузообразующих и грузопотребляющих технологически сопряженных предприятий по критерию максимизации их конечного продукта и минимизации кратности валового оборота к валовой добавленной стоимо-

сти. Конечный продукт региона — это потребительские, инвестиционные товары, предметы государственных закупок и чистый вывоз из региона. Эта задача на уровне управления спросом на услуги транспортно-логистической системы представляется как минимизация совокупных транспортно-логистических издержек. Во-вторых, задача конкуренции за транзитные потоки для привлечения их на транспортно-логистическую сеть региона. Такое привлечение транзита дает автономный, независимый от других отраслей материального производства региона вклад в его добавленную стоимость.

Объем услуг транспорта и транспортно-логистической макросистемы региона помимо предъявляемого спроса ограничивается производственными возможностями ТЛС. Динамика производственных возможностей системы зависит от потока вложений в нее, формируемого из текущего дохода, а при успешной конкуренции конкретной системы и региона ее дислокации за внешние ресурсы развития — и за счет централизованных инвестиционных ресурсов.

Поскольку наиболее высокой технологичностью обладают процессы прогнозирования в электроэнергетике, а также учитывая отмеченное выше подобие между крупнейшими инфраструктурными системами, дадим более подробный обзор методов прогнозирования, применяемых для оценки перспективной потребности в электроэнергии и мощности на территориях. Следует подчеркнуть, что время смены парадигм развития накладывает ограничения на использование многих традиционных методов, в первую очередь это касается экстраполяций на основе статистики. Это требует, как минимум, сочетанных подходов, поэтому важна взаимосвязь методов. В организации такой взаимосвязи также существенен опыт, накопленный в управлении развитием энергетики.

Решение рассматриваемых задач наиболее сложно для регионов, характеризующихся повышенной неопределенностью будущих условий развития (например, Урала, что обусловлено особенностями его географического расположения на границе Европы (включая зону Евросоюза) и Азии (включая Китай)), а также обширностью территории и существующей разнородностью экономических и энергетических условий. В частности, по энергетике в зону объединенной энергосистемы Урала (ОЭС Урала) входят как энергодефицитные районы коренного Урала, так и энергоизбыточные территории ХМАО и ЯНАО с их нефтегазовыми комплексами.

Учитывая изложенное, методы прогнозирования должны базироваться на имитационном подходе, позволяющем моделировать многообразие прогнозных (перспективных) условий развития. Развилки в формировании условий определяют и усиление различий в возможных режимах электропотребления, что особенно важно для перехода от перспективных объемов электропотребления к определяемым режимам мощностей нагрузки

системы, от которых преимущественно зависят закладываемые на основании прогнозов инвестиционные решения, являющиеся прямым объектом оптимизации развития систем. К тому же прогнозная потребность в электроэнергии будет формироваться на основе платежеспособного спроса, зависящего от тарифов, которые целесообразно строить дифференцированно по плотности суточных графиков. Такая практика давно получила широкое распространение в части дифференциации дневных и ночных тарифов, а потенциально может быть распространена на договорные тарифы будущих периодов, для энергообеспечения которых, собственно, и нужен прогноз. Поэтому модели прогнозирования уровней и режимов электропотребления должны быть встроены и адаптированы к оптимизационной модели. В этом случае замыкается контур управления развитием, объединяющий внешние условия развития энергетики и региона ее действия, в том числе социально-политические и экономические факторы, с внутрисистемными процессами самой энергетики. Модели оптимизации развития вместе с аппроксимацией его показателей рассматриваются как вложенные в имитационный подход, наиболее общий при исследовании развития электроэнергетики региона в условиях сценарной неопределенности и многокритериальности. Данный подход позволит повысить степень обоснованности принимаемых решений по сооружению и техническому перевооружению электроэнергетических объектов на обширных территориях масштаба Большого Урала.

С учетом специфики использования математического аппарата, программной реализации и информационного обеспечения выделены пять групп методов прогнозирования уровней и режимов электропотребления:

- 1) методы экстраполяции тренда;
- 2) экономико-статистические методы, в том числе методы регрессионного и факторно-регрессионного анализа;
- 3) эконометрические методы;
- 4) нормативные методы;
- 5) использование сложных математических моделей прогнозирования на основе имитационного подхода и оптимизации.

Прогнозирование, основанное на временном тренде, адекватно лишь в условиях стабильного роста, когда на коротких временных периодах существенно не изменяются фундаментальные условия формирования прогнозируемых показателей. С осторожностью следует в современных условиях использовать не только тренды, но и любые экстраполяции, то есть применимость экономико-статистических методов также ограничена определенным сценарием развития. Однако актуализируется при этом статистическое описание сценариев. Поэтому эконометрические методы, заключающиеся в построении систем одновременных уравнений, включают в себя уравнения, в которых сценарно задается семейство

экзогенных переменных. Нормативные методы наиболее просты в применении при условии надежной нормативной базы формирования потребностей, в частности, потребностей в энергии, что может давать удовлетворительные результаты в краткосрочном прогнозировании. При переходе к перспективе более 3–4 лет важна коррекция нормативов в рамках вероятного или целевого сценария развития.

Модели на основе имитации и оптимизации наиболее содержательны, так как позволяют глубже проследить цепочки взаимосвязей в формировании итоговых показателей прогноза, учесть вероятности по этим цепочкам, а также смоделировать обратные связи в виде воздействия оптимизации систем производства и поставки прогнозируемого продукта (например, энергии или услуг транспорта).

Для определения объемов деятельности систем в современных условиях прогнозируется не столько потребность, сколько платежеспособный спрос, зависящий в том числе и от тарифов (цен). Так, для стимулирования энергосбережения важным инструментом становится тарифная политика, в частности, построение шкалы тарифов на электроэнергию, дифференцированных по режимам электропотребления. Последнее, в свою очередь, связано с прогнозированием показателей производства электроэнергии по зонам графиков электрических нагрузок.

И все же при всех отмеченных ограничениях наиболее применяемыми в экономических исследованиях методами прогнозирования спроса на услуги инфраструктур на уровне региона остаются методы, основанные на статистических зависимостях. [3] Причины — в доступности статистической информации и простоте реализации, когда на передний план выводится задача достижения экономического роста как общего, так и по составляющим. При этом появляется множество экзогенных переменных, и поскольку между ними обычно есть значительная корреляция, для обеспечения статистического качества эконометрической модели необходима компенсация гомоскедастичности (мультиколлениарности) экзогенных переменных. В этих целях при прогнозировании уровней электропотребления макрорегиона нами строились факторно-регрессионные уравнения для электропотребления регионов Урала и эконометрические модели в виде систем таких уравнений с балансовой увязкой суммы электропотребления регионов Урала и электропотребления объединенной энергосистемы Урала (ОЭС Урала).

Процесс построения факторно-регрессионных моделей [4] (ФРМ) состоит из нескольких этапов. На первом этапе выполнен первичный отбор и корреляционный анализ исходных параметров (независимых переменных), между которыми обнаружены сильные корреляционные связи. Это обстоятельство затрудняет применение традиционных методов регрессионного анализа

вследствие мультиколлинеарности переменных, при том что каждая из них несет в себе некоторую содержательную информацию, учет которой полезен при прогнозировании.

Второй этап состоит в переходе от реальных коррелированных между собой экзогенных переменных, выраженных в нормированном виде, к некоррелированным (взаимно ортогональным) факторам. Переход реализуется посредством матрицы факторных нагрузок:

$$Z = A \cdot F,$$

где Z — матрица исходных переменных; F — соответствующие им взаимно ортогональные факторы; A — матрица факторных нагрузок.

Матрица нагрузок A рассчитана на основе матриц собственных векторов и собственных чисел корреляционной матрицы R .

Проверка гипотезы о необходимом числе выделенных факторов k выполнена по критерию Неймана — Пирсона.

Для расчета значений факторов F применен специальный метод Томсона:

$$F = WZ,$$

где W — матрица связи.

На завершающем этапе построены ФРМ суммарного и промышленного электропотребления:

$$\mathcal{E} = f(t, F).$$

Для построения моделей в качестве исходных данных принята совокупность экономических и экономико-демографических показателей, разделенных по секторам народного хозяйства: производительность труда (Π); фондовооруженность (Φ_v); объем валовой продукции (B); стоимость основных производственных фондов (Φ); численность ($Ч$) и плотность (γ) населения и др.

Рассмотрены две модификации факторной модели: первая — $\mathcal{E} = f(\Pi, \Phi_v)$, вторая — $\mathcal{E} = f(B, \Phi, Ч)$. По первой форме оказалось достаточным выделения двух факторов (описывающих порядка 95% суммарной дисперсии переменных). По второй — трех факторов.

Проведенная оценка по F -критерию свидетельствует о статистической значимости полученных моделей (при уровне значимости $\alpha = 0,05$).

Для большинства территорий Урала погрешности разработанных ФРМ лежали в пределах 0,8–3,5%. Данный класс моделей для прогнозирования электропотребления по сравнению с традиционными регрессионными моделями обладает значительными преимуществами. Главными из них являются возможности более полного учета совокупности влияющих народнохозяйственных параметров, существенное сокращение размерности при замене исходных параметров факторами (с мини-

мальными потерями информации), снижение погрешности и снижение доверительных интервалов прогнозируемых показателей.

Применение эконометрических методов позволяет углубить исследования благодаря моделированию прямых и обратных связей между глубиной электрификации производственных процессов и показателями экономического развития региона (с учетом ограничений по народнохозяйственным ресурсам).

Прогноз электропотребления с использованием эконометрических моделей включает четыре этапа:

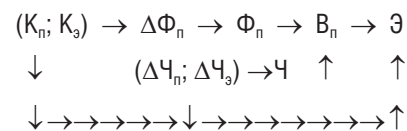
- 1) анализ основных народнохозяйственных показателей, применяемых при построении моделей;
- 2) определение рациональной структурной схемы формирования связей между народнохозяйственными показателями и электропотреблением;
- 3) исследование эффекта запаздывания между вводом капиталовложений и приростом основных производственных фондов (ОПФ);
- 4) построение эконометрических моделей электропотребления региона.

В качестве основных народнохозяйственных показателей, включаемых в эконометрическую модель прогнозирования электропотребления (\mathcal{E}), выступают: выпуск валовой продукции (B); основные производственные фонды (Φ); инвестиции в основной капитал (K); численность трудящихся ($Ч$).

Данные показатели тесно связаны друг с другом, и их разделение на экзогенные и эндогенные весьма условно.

Эконометрические модели для прогнозирования электропотребления были построены нами для Тюменского региона с целью наибольшего отражения его уникальной отраслевой структуры, с которой связана электроемкость его экономики, чрезвычайно плотные режимы электропотребления, повышенная инерционность инвестиционных процессов. В отдельные периоды электропотребление нарастало с высокой динамикой, в такие периоды большое значение приобретают ограничения по темпам ввода мощностей инфраструктур, в данном случае в электроэнергетике. В силу отмеченной особенности в качестве экзогенных переменных были приняты наиболее инерционные — капиталовложения и их наиболее ограничивающая составляющая — объемы строительно-монтажных работ, а также приросты трудовых ресурсов по отраслям прогнозной модели ($\Delta Ч_n$).

При этом структурное взаимодействие векторных параметров (компоненты векторов различаются отраслями и годами рассматриваемого периода) может быть выражено следующей упрощенной схемой:



Здесь V_n , Φ_n , K_n — векторы, компонентами которых являются соответственно объемы выпуска валовой продукции, основные фонды, капиталовложения по отраслям (секторам) народного хозяйства; K_3 — капиталовложения по электроэнергетике; \mathcal{A} , \mathcal{C} — суммарные потребности в электроэнергии, трудовых ресурсах по региону (с учетом электроэнергетики); $\Delta\Phi_n$, $\Delta\mathcal{C}_n$ — векторы, компонентами которых являются приросты основных производственных фондов и трудовых ресурсов в отраслях промышленности; $\Delta\mathcal{C}_3$ — вектор, компонентами которого являются приросты трудовых ресурсов по электроэнергетике.

Прогнозирование электропотребления осуществляется поэтапно, на основе более простых прогнозов. Вначале осуществляется прогноз величины $\Delta\Phi$ при помощи модели вида $\Delta\Phi_t = f(K, t - \tau)$, и анализируется процесс влияния использования капитальных вложений на ввод основных производственных фондов. Далее, имея значения приращения ОПФ $\Delta\Phi_t$, определяем их общий размер:

$$\Phi_t = \Delta\Phi_t + \Phi_{t-1}.$$

На следующем шаге прогнозирования, используя известное значение годового прироста численности промышленно-производственного персонала (ППП) $\Delta\mathcal{C}_t$, можем определить полное значение численности:

$$\mathcal{C}_t = \Delta\mathcal{C}_t + \mathcal{C}_{t-1}.$$

Затем производится прогноз величины V_t на основе модели вида $V_t = f(\mathcal{C}_t, \Phi_t)$.

Окончательный прогноз промышленного электропотребления региона осуществляется при помощи моделей вида $\mathcal{A}_{np} = f(V)$, $\mathcal{C}_{np} = f(\mathcal{C}, \Phi)$.

Таким образом, используя данную схему, можно получить количественный прогноз величины электропотребления, имея прогнозные значения на перспективу лишь двух народнохозяйственных показателей: капиталовложений K_t и прироста численности ППП $\Delta\mathcal{C}_t$, которые выступают в данной модели в качестве экзогенных переменных.

Далее проводится исследование эффекта запаздывания между вводом капиталовложений и приростом основных производственных фондов. Содержательный анализ процессов общественного производства указывает на большую сложность механизма формирования связей электропотребления с соответствующими показателями развития народного хозяйства. Очевидно, не все показатели экономического роста оказывают влияние на исследуемую величину электропотребления в тот временной интервал, в котором эти данные были зафиксированы. Это время (τ) зависит от конкретных условий освоения объекта и определяется как разность между временем начала работы объекта и вводом ка-

питаловложений. Таким образом, необходимо исследовать взаимосвязь между вводом капиталовложений K_t и приростами ОПФ $\Delta\Phi_t$:

$$\Delta\Phi_t = f(K_t, t - \tau).$$

Для выявления эффекта запаздывания прироста ОПФ по отношению к вводу капиталовложений (временного лага) использовалась методика, основанная на применении аппарата корреляционного анализа. Выбор оптимального значения временного лага τ_{opt} проведен путем сопоставления ряда коэффициентов корреляции при различных сдвигах во времени.

Для рассматриваемого региона выполнен расчет коэффициентов взаимной корреляции r между $\Delta\Phi$ и K при изменении τ от 0 до 5 лет. Максимальное значение r соответствует временному лагу в три года ($\tau = 3$).

Анализ показал, что прямое прогнозирование промышленного электропотребления региона (\mathcal{A}_{np}) на основе численности ППП (\mathcal{C}) и капиталовложений (K) дает лучшие результаты, чем прогнозирование по модели $\mathcal{A}_{np} = f(V)$.

На основе обобщения выполненных комплексных исследований по прогнозированию потребностей в услугах энергетической инфраструктуры имеем спецификацию методов прогнозирования. В современных условиях все они могут успешно применяться. Простейшие регрессии сохраняют свой прогностический потенциал в рамках сценария развития для краткосрочного прогнозирования и для ориентировочных оценок на более отдаленную перспективу. Применение эконометрических методов позволяет углубить исследования благодаря моделированию прямых и обратных связей между оснащенностью основных производственных процессов (в описанном выше примере — уровнем их электрификации) и показателями экономического развития региона. Методы обработки заявок дают возможность построить прогноз на основе накопленной статистической и проектной информации по развитию и размещению потребителей в малых совокупностях, например, для отдельно взятого поставщика электроэнергии. По-прежнему весьма распространенные нормативные методы определения потребности базируются на инерционности удельных расходов и прямом счете исследуемых величин потребности. При их использовании расчет ведется исходя из прогнозных показателей по производству основных видов продукции и удельных норм расходов.

Технологические методы прогнозирования хорошо освоены в практике проектирования развития электроэнергетики. Они предназначены для технико-экономического обоснования рациональных видов энергоносителей и режимов работы электроприемников, включая встроенную оптимизацию по тому или иному критерию. В частности, эти методы используются при обосновании эффективности применения тех или

иных энергосберегающих технологий, оценке целесообразности использования электроэнергии на тепловые процессы (электротеплоснабжение), выборе типа привода на компрессорных станциях газопроводов (электропривод) и др. Рассмотренные в данной статье сильные аналогии двух системных инфраструктур — энергетики и транспорта — дают возможность адаптации этих методов и для проектирования развития транспортных систем.

В целом же высокий уровень неопределенности условий развития ключевых отраслей и больших инфраструктур требует экспертных и имитационных подходов. Расширение круга принимаемых во внимание предпосылок, факторов и сопутствующих условий развития обуславливает целесообразность замены в качестве основного математического инструмента построения модели прогнозирования регрессионных уравнений факторно-регрессионными, которые вложены в комплексные системы прогнозирования. Коэффициенты матрицы факторных нагрузок могут использоваться в качестве весовых коэффициентов при линейной свертке экспертных оценок.

Заключение

Настоящая статья посвящена вопросам прогнозирования показателей развития инфраструктурных систем на основе прогнозов социально-экономического развития регионов. В качестве основного показателя, коли-

чественно описывающего темпы развития, традиционно принимаются количественные показатели продукта и дохода, в первую очередь ВВП страны и ВРП региона. Однако для прогнозирования потребности в услугах инфраструктурных систем не менее важен качественный аспект развития, поэтому необходимо разграничивать показатели роста и показатели развития. Экономический рост выступает лишь предпосылкой и стоимостной основой более сложного процесса, а именно экономического развития. Развитие многоаспектно и многокритериально, невозможно ограничиться каким-то одним показателем для его отражения. Классическим и наиболее простым методом многокритериального обобщения является построение обобщенных индексов, учитывающих различные аспекты развития — технологический, социально-демографический, экономический, экологический и др. Наибольшую сложность в их построении представляет обоснование весовых коэффициентов. Синтетический индекс развития определяется на основе факторного анализа вышеуказанных аспектов развития. В рамках представленного здесь подхода они могут быть обоснованы на основе коэффициентов матрицы факторных нагрузок. Прогнозирование роста экономики всегда должно сопровождаться прогнозированием ее развития, так как именно этим определяется программирование перспективного развития и энергетики, и транспортной системы. **ИТ**

Статья подготовлена в соответствии с Планом НИР ИЭ УрО РАН, № темы 0404–2015–0024 в ИСГЗ ФАНО.

Список литературы

1. Петров М. Б. Стратегические приоритеты развития железнодорожной транспортной сети в регионах Большого Урала и на прилегающих территориях // Инновационный транспорт. — 2014. — № 2 (12). — С. 6–11. — ISSN 2311–164X.
2. Петров М. Б. Обновление экономической парадигмы как предпосылка успешной модернизации российской экономики // Вестник УрГУПС. — 2011. — № 2. — С. 23–30. — ISSN 2079–0392.
3. Четыркин Е. М. Статистические методы прогнозирования. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Статистика, 1997.
4. Иберла К. Факторный анализ. — М.: Статистика, 1980.



Игорь Владимирович Мицук
Igor V. Mitsuk



Александр Геннадьевич Галкин
Alexander G. Galkin



Игорь Станиславович Цихалевский
Igor S. Tikhalevsky

Проект высокоскоростной сетевой учебно-научной лаборатории на принципах сплит-системы

The project of a high-speed network training and research laboratory on the principles of the split system

Аннотация

Статья посвящена создаваемой лаборатории скоростного и высокоскоростного подвижного состава, которая должна позволить работать на оборудовании не только локально, но и удаленно с использованием сетевых технологий. Тележка электропоезда «Ласточка» будет входить в состав испытательного комплекса «Катковская станция», который как составляющая единица войдет в отраслевой центр дистанционной практической и тренажерной подготовки с обновляющейся базой данных и соответствующей инфраструктурой доступа из образовательных организаций Росжелдора. С помощью комплекса будут выполняться лабораторные работы по определению амплитудно-частотных характеристик колебаний подпрыгивания, колебаний продольной качки тележки на искусственных периодических неровностях, исследование сил, действующих на экипаж при вилянии и относительном движении в кривой и др. Появление нового инновационного оборудования позволит повысить уровень научных исследований, проводимых в университете по повышению ресурса колесных пар тягового подвижного состава и его механической части.

Ключевые слова: катковская станция, тележка, диагностика, испытание, лабораторный практикум, сплит-система.

DOI:10.20291/2311-164X-2017-2-11-14

Авторы Authors

Игорь Владимирович Мицук, канд. экон. наук, д-р транспорта, заместитель руководителя Федерального агентства железнодорожного транспорта, Москва | **Александр Геннадьевич Галкин**, д-р техн. наук, профессор, академик РАТ, ректор Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Игорь Станиславович Цихалевский**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрическая тяга» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

Igor Vladimirovich Mitsuk, Cand. of Econ. Sciences, Dr. of Transport, Deputy Head of the Federal Agency of Railway Transport, Moscow | **Alexander Gennadievich Galkin**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the RAP, Rector of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg | **Igor Stanislavovich Tikhalevsky**, Cand. of Tech. Sciences, Associate Professor of the Department of Electric Traction of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg

В настоящее время компанией «Российские железные дороги» при государственной поддержке реализуется долгосрочная программа по обновлению локомотивного парка железных дорог России, в том числе для скоростного и высокоскоростного движения, сеть которого расширяется.

В программе участвуют и зарубежные производители, обладающие высокотехнологичными разработками в области локомотивостроения. В их числе концерн Siemens AG, который реализует ряд совместных проектов с отечественными транспортными компаниями. Так, с 2009 г. поездами ЭВС1, ЭВС2 «Сапсан» обслуживается высокоскоростное сообщение на магистрали ВСЖМ-1 С.-Петербург — Москва, а с 2014 г. на заводе «Уральские локомotiveы» в Верхней Пышме запущено совместное производство скоростных электропоездов ЭС2Г «Ласточка», которые успешно эксплуатируются на Свердловской, Октябрьской и Московской железных дорогах, в том числе на Московском центральном кольце, которое открылось в этом году. В изготовлении поездов принимает участие множество отечественных предприятий, их продукция составляет 64 % от объема всех комплектующих, а в следующем году уже 80 % производства этих поездов должно быть локализовано в России.

Очевидно, что долговременный характер сотрудничества в производстве новых типов подвижного состава для российских железных дорог и перспективы реализации проектов высокоскоростного движения «Москва — Казань — Екатеринбург» и «Екатеринбург — Челябинск» ставят задачу подготовки специалистов с соответствующими компетенциями.

В решение этой задачи включился и Уральский государственный университет путей сообщения, начав в 2011 г. освоение новых железнодорожных специализаций в рамках федеральных государственных образовательных стандартов по специальности «Подвижной состав железных дорог». В их числе специализация «Высокоскоростной наземный транспорт», на которую набор студентов увеличивается с каждым годом. Это указывает, с одной стороны, на актуальность данной специализации, а с другой — на высокий интерес к высокоскоростному железнодорожному транспорту среди абитуриентов.

Качественная и эффективная подготовка специалистов, способных обеспечить эффективную эксплуатацию и грамотное техническое обслуживание высокотехнологичного транспорта, невозможна без современного лабораторного оборудования, зачастую уникального и дорогостоящего. В связи с этим в университете создается лаборатория скоростного и высокоскоростного подвижного состава, которая должна позволить работать на оборудовании не только локально, но и удаленно, с использованием сетевых технологий. Для такого построения процесса лабораторная установка должна быть разделена по принципу сплит-системы. Катковская станция и испытываемое оборудование размещаются

в лаборатории УрГУПС, а виртуальный центр контроля и управления в виде специализированных компьютерных программ запускается удаленно. Причем степень удаленности может быть различной: как из соседнего помещения (опыт университета Чэнду), так и из другого учебного заведения, расположенного за тысячи километров.

На рис. 1 представлена испытательная катковская станция университета Чэнду и центр управления.



Рис. 1. Испытательная катковская станция университета Чэнду и центр контроля и управления

Это позволит студентам всех вузов Росжелдора и их филиалов использовать оборудование как в научных исследованиях, так и в учебном процессе. Учебный процесс и исследования можно организовать так, чтобы с учетом разницы в часовых поясах получить практически круглосуточную загрузку оборудования, устраивая лишь технологические перерывы.

Идея дистанционного лабораторного практикума (ДЛП) не является абсолютно новой. Так, например, в МГТУ им. Баумана уже много лет студенты выполняют через интернет дистанционные лабораторные работы [1]. Простейшая конфигурация дистанционного лабораторного практикума включает лабораторную установку с электронным управлением, веб-камеру, интерфейс для передачи данных с установки на компьютер-сервер, через который обеспечивает связь с рабочим местом клиента, подсоединенным к сети интернет (рис. 2).

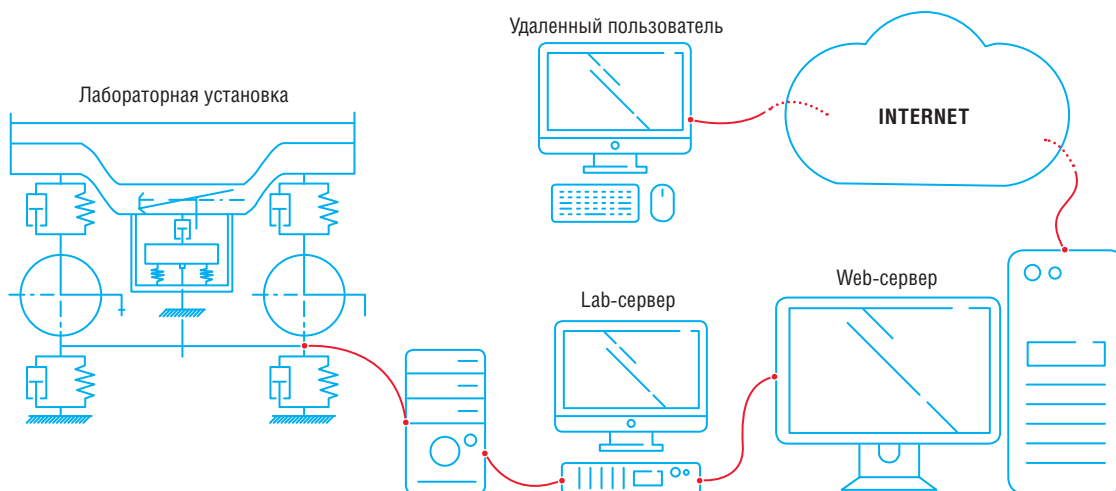


Рис. 2. Принцип организации дистанционного лабораторного практикума

На компьютере клиента (удаленный пользователь) установлено программное обеспечение, которое позволяет управлять экспериментальной установкой, считывать экспериментальные данные и обрабатывать эти данные (обработка может происходить также off-line). Управление лабораторной установкой осуществляется через Lab-сервер, например, с помощью популярной программы LabView (National Instruments), отличающейся наглядностью программирования, или MatLab (The MathWorks), обладающей очень хорошим аппаратом обработки и представления данных и коммуникативностью с другими популярными языками программирования.

Первым элементом катковой станции УрГУПС будет тележка скоростного электропоезда ЭС2Г (рис. 3), подаренная заводом «Уральские локомотивы» в рамках соглашения о сотрудничестве между нашими организациями и укреплении связей между производством и университетской наукой.

В рамках дисциплин специализации студенты на примере тележки поезда «Ласточка» будут изучать конструкцию дискового тормоза, рессорного подвешивания, колесных пар, подшипников, технологию их технического обслуживания, ремонта и диагностики. Тележка будет входить в состав испытательного комплекса «Катковая станция», который как составляющая единица войдет в отраслевой центр дистанционной практической и тренажерной подготовки с обновляющейся базой данных и соответствующей инфраструктурой доступа из образовательных организаций Росжелдора.

С помощью комплекса будут выполняться лабораторные работы по определению амплитудно-частотных характеристик колебаний подпрыгивания, колебаний продольной качки тележки на искусственных периодических неровностях, исследование сил, действующих на экипаж при вилянии и отnose, движении в кривой и др.

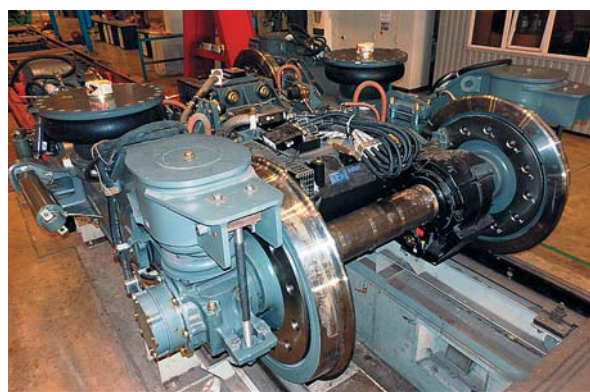


Рис. 3. Тележка электропоезда ЭС2Г «Ласточка»

Катковая станция является физической моделью движения тележки по рельсовому пути, она позволяет воспроизводить условия движения, близкие к эксплуатационным, в диапазоне скоростей до 200 км/ч. В настоящее время рассматривается несколько вариантов схем катковых станций [2, 3], которые отличаются друг от друга конструкцией катков и их привода, кинематической схемой, схемой нагружения и т.д.

Возможные схемы расположения опорных катков катковых станций приведены на рис. 4. На рисунке цифрой 1 обозначена колесная пара, а цифрой 2 — опорные катки.

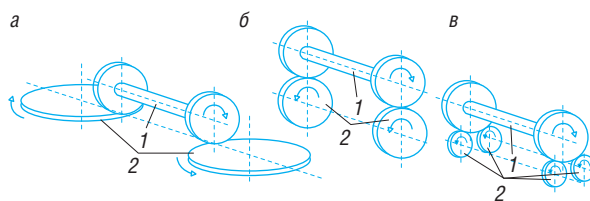


Рис. 4. Расположение опорных катков

Конструкции, представленные на рис. 4, б и 4, в, не позволяют говорить об идентичности условий взаимодействия колеса и катка с эксплуатационными условиями, так как здесь реализуется схема перекатывания цилиндра по цилиндру. Стенд, схема которого представлена на рис. 4, а, также не отличается сходством условий взаимодействия колеса с рельсом и колеса с катком. Здесь происходит перекатывание цилиндра по плоскости. Но такая схема накладывает дополнительное проскальзывание в зоне контакта колеса и катка из-за непоступательного движения имитатора рельса (вращения обода катка). В результате пятно контакта колеса и катка не является эллипсом, как в случае контакта колеса и рельса, следовательно, силы крипа здесь иные, и говорить об идентичности горизонтальной динамики экипажа нельзя. Однако такая схема обеспечивает устойчивое положение железнодорожного экипажа (тележки электропоезда) на катковой станции.

Рассмотрим катковую станцию на рис. 5 [4]. На опорные ролики 7 опираются катки 2, установленные с возможностью вращения вокруг своей вертикальной оси. На катки опираются колеса 1 тележки 3. Фиксируют тележку гидравлическими растяжками (на рисунке не показаны). Каждый каток по периферии имеет профиль головки стандартного рельса. В центральной части стенда установлен силовой гидроцилиндр 4, гильза которого шарнирно связана с основанием, а шток соединяется с подпятниковым узлом 5 надрессорной балки 6 тележки 3.

Применение в данном стенде гидравлического нагружателя в виде силового цилиндра позволит повысить достоверность диагностики, так как он создает реальные нагрузки на транспортное средство, максимально близкие к тем, которым оно подвергается в составе ва-

гона на магистрали. Кроме того, схема фиксирования тележки на стенде позволяет ей совершать те же движения (виляние, галомирование и т.п.), что и при реальном движении по пути.

Катковая станция предоставляет возможность проводить эксплуатационные испытания. Известно, что каждый дефект обладает определенной амплитудно-частотной характеристикой (спектральным образом). Моделируя эксплуатационные нагрузки на катковой станции, можно создать и накопить банк данных спектральных образов часто встречающихся неисправностей ходовых частей подвижного состава и их комбинаций. Это даст возможность в дальнейшем выполнять идентификацию причин отказов.

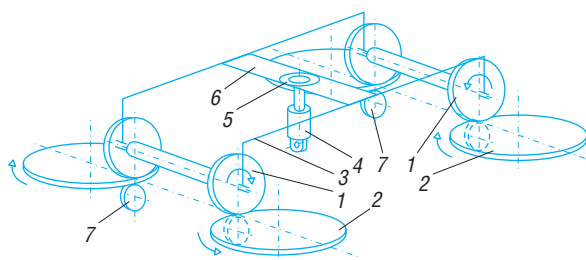


Рис. 5. Схема катковой станции

Появление в УрГУПС нового инновационного оборудования позволит повысить уровень научных исследований, проводимых в университете по повышению ресурса колесных пар тягового подвижного состава и его механической части.

В настоящее время проводятся предпроектные исследования, изучается мировой опыт, ведется обзор литературных источников. **ИТ**

Список литературы

1. Принципы построения лабораторного практикума с удаленным доступом [Электронный ресурс] / МИ-ФИ, 2016. — URL: <https://mephi.ru/physlab/method/principles.php> (дата обращения: 16.12.2016).
2. Смольянинов А. В. Разработка средств диагностирования экипажной части железнодорожного подвижного состава : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07/ ОмГУПС. — Омск, 2004. — 207 с.
3. А. с. 1170132 СССР, 6 G 01 M 17/00. Катковый стенд. — Бюл. № 34. — 1985.
4. Смольянинов А. В. Методика применения катковой станции при диагностике технического состояния железнодорожного подвижного состава // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. — 2016. — № 1 (6). — С. 19–23. — ISSN 2415–8658.



**Олег Николаевич
Ларин**
Oleg N. Larin



**Дмитрий Эдуардович
Тарасов**
Dmitri E. Tarasov

О выборе рациональных схем доставки товаров

On the choice of rational schemes for the delivery of goods

Аннотация

В статье рассматриваются методические положения поиска рациональных вариантов доставки товаров от поставщика к получателю. Материалы содержат результаты анализа особенностей базовых схем доставки товаров, математические модели расчета их основных параметров. Рекомендовано производить выбор рационального варианта доставки грузов на основе критерия минимальных совокупных затрат на логистические операции.

Ключевые слова: схема доставки грузов, транспортировка, логистические операции, тарифы, грузовой терминал, склад.

Abstract

In the article methodical positions of search of rational variants of delivery of the goods from the supplier to the receiver are considered. The materials contain the results of the analysis of the features of the basic schemes for the delivery of goods, mathematical models for calculating their basic parameters. It is recommended to choose the rational variant of cargo delivery based on the criterion of minimum total costs for logistics operations.

Keywords: scheme of cargo delivery, transportation, logistics operations, tariffs, cargo terminal, store.

DOI:10.20291/2311-164X-2017-2-15-19

Авторы Authors

Олег Николаевич Ларин, д-р техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник ФГНБУ «Российский институт стратегических исследований», Москва; e-mail: larin_on@mail.ru | Дмитрий Эдуардович Тарасов, аспирант, ассистент кафедры ФГБОУ ВО «Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II» (МИИТ), Москва; e-mail: detarasov@mail.ru

Oleg Nikolaevich Larin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Senior Researcher of the Russian Strategic Research Institute, Moscow; e-mail: larin_on@mail.ru | Dmitri Eduardovich Tarasov, postgraduate student, assistant of the Department of FSBEI of HPE (Federal State Budget Education Institution of professional higher education) "Moscow State University of Railway Transport of the Emperor Nicholas II" (MSU of RT), Moscow; e-mail: detarasov@mail.ru

Широкая востребованность услуг логистических посредников (3PL-операторов) обусловлена высокой эффективностью используемых ими схем доставки грузов, основанных на применении технологий интеграции грузопотоков в транспортно-логистических центрах. Среди различных схем доставки грузов от производителей до потребителей выделяют два основных (базовых) типа — прямые и терминальные схемы.

При прямой схеме транспортировка груза осуществляется от отправителя до получателя без трансформации грузопотока в транзитных терминалах и логистических центрах. Как правило, прямая доставка осуществляется с использованием одного вида транспорта. При этом прямая схема может быть реализована в двух вариантах — в зависимости от объема грузовой партии и периодичности поставок.

Первый вариант предусматривает осуществление прямой доставки груза непосредственно от отправителя получателю, при этом объемы и периодичность каждой поставляемой партии грузов не сбалансированы с технологическими параметрами использования товаров грузополучателями. Условия разовой поставки по объемам и периодичности определяются с учетом производственных интересов отправителя и превышают текущие потребности получателя в грузе, что приводит к накоплению избыточных объемов в запасе и их хранению на складе. Такой вариант доставки в теории грузовых перевозок относится к магистральным и предполагает использование большегрузного транспорта для доставки общего (планового) объема груза крупными партиями в адрес одного получателя в течение непродолжительного периода времени [1].

При магистральной схеме поставщик отправляет каждому грузополучателю товары в объеме совокупного спроса с использованием большегрузных транспортных средств по относительно низкому тарифу на перевозку. Так как доставляемый объем товаров больше требуемого, то грузополучатели вынуждены хранить запасы товаров на складе в течение длительного периода. Совокупные затраты на поставку товаров каждому грузополучателю по магистральной схеме складываются из затрат на магистральную транспортировку и затрат на хранение товаров на складе у грузополучателя [5].

При втором варианте груз также доставляется напрямую от отправителя получателю, но условия поставки каждой партии грузов по объемам и периодичности сбалансированы с технологическими параметрами использования груза получателем. Сбалансированность условий предполагает соответствие разового объема поставки и текущих потребностей получателя в грузе в течение планового периода между двумя смежными поставками (интервала поставки). Превышение указанных потребностей приводит к накоплению груза в запасе у получателя. При этой схеме доставка общего объема груза осуществляется в течение длительного пери-

ода времени, как правило, небольшими партиями. Такой вариант доставки может быть назван развозным, так как допускает, что за один рабочий цикл транспортное средство способно доставить обособленные грузовые партии нескольким получателям. В теории грузовых перевозок использование развозных схем рекомендуется для доставки грузов на небольшие расстояния (до 150 км) [2].

Так как при развозной схеме поставщик отправляет товары небольшими партиями, близкими по объему к объему текущих продаж, с использованием транспортных средств малой грузоподъемности, то применяются относительно высокие тарифы на перевозку. В этом случае получателю нет необходимости создавать запасы товаров на складе, а у производителя соответствующие расходы для общего случая не учитываются, так как он может организовать производство без накопления запасов. Поэтому затраты на доставку товаров грузополучателям по развозной схеме включают только затраты на транспортировку.

Современные логистические технологии доставки товаров потребителям ориентированы на сокращение всех видов затрат в цепи поставок, в том числе на хранение товаров на складах. Однако исключать запасы не всегда целесообразно по различным причинам (например, срыв очередной поставки приведет к потерям доходов от продажи товаров при отсутствии их запасов). Однако можно снизить совокупные затраты на транспортировку и хранение путем использования терминальной схемы доставки грузов, которая предусматривает интеграцию грузопотока в адрес всех получателей в узловых объектах (терминалах, логистических центрах и пр.) для их трансформации и последующей транспортировки в измененном объеме. Такая схема, как правило, предусматривает смену вида транспорта [3].

Функционирование грузового терминала рассматривается как сложная система. Количество и дислокация терминалов в сети, вид и компоновка грузовых фронтов, особенности технологии взаимодействия видов транспорта и т.д. влияют на экономичность, надежность и гибкость схемы доставки [4].

Терминальная схема представляет собой комбинацию магистральной и развозной схем с переносом хранения запасов со складов магазинов на терминал. Поставщик сначала отправляет товары в объеме совокупного спроса для всех грузополучателей по магистральной схеме на терминал, находящийся в районе концентрации грузоотправителей с использованием большегрузных транспортных средств по относительно низкому тарифу на перевозку. Товары, поступающие на терминал, хранятся в запасе по тарифу, который с учетом эффекта масштаба, как правило, ниже, чем себестоимость хранения товара на складе получателя.

Затем товары развозятся из терминала небольшими партиями каждому грузополучателю. Тариф на пере-

возку из терминала, как правило, выше магистрально-го тарифа. Соответственно, совокупные затраты на поставку товаров по терминальной схеме складываются из затрат на магистральную транспортировку до терминала, затрат на хранение товаров на терминале и затрат на развоз товаров от терминала до каждого грузополучателя [7].

Любая из описанных выше схем обладает преимуществами и недостатками, так как не всегда самый быстрый и простой в организационном плане вариант доставки, например развозной, может оказаться наиболее затратным, в то же время более сложная доставка с использованием промежуточного звена цепи доставки (терминала, логистического центра) будет относительно недорогой.

Для выбора рационального варианта доставки рекомендуется использовать критерий совокупных затрат на основные логистические операции (транспортировку и хранение), величина которых в каждом конкретном случае будет зависеть от различных факторов: объемов партий, интенсивности, ритмичности, частоты доставки, количества грузополучателей, расстояния перевозки, класса и вида перевозимых грузов, типажа транспортных средств и т.д.

Для расчета совокупных затрат могут быть использованы следующие методические рекомендации. Например, имеется производитель, который реализует свои товары потребителям через розничную сеть, представленную множеством P_i торговых точек (магазинов) $P_i \in P (i = 1, 2, \dots, n)$. Известны объемы поставок Q_{pi} (т) в каждый i -й магазин в течение периода T_{pi} (как правило, год). При этом текущие потребности магазинов в товарах в объеме продаж (отгрузки) q_{ri} (т) планируются на более короткие периоды времени t_{ri} , например, раз в неделю. Поэтому $T_{pi} > t_{ri}$, а $Q_{pi} > q_{ri}$. Также известны места расположения поставщика и всех i -х магазинов, заданные координатами (x, y) . Координаты поставщика — (x_0, y_0) , координаты магазинов — (x_i, y_i) .

1. Затраты на магистральную транспортировку товаров в i -й магазин G_{magi} рассчитываются по формуле:

$$G_{magi} = S_{magi} \cdot Q_{pi} \cdot l_{0i}, \text{ (руб.)}, \quad (1)$$

где S_{magi} — тариф на магистральную доставку товаров от поставщика до каждого магазина, руб./т·км; Q_{pi} — совокупный объем поставляемых товаров каждому получателю (магазину), т; l_{0i} — расстояние от поставщика до каждого магазина, км.

При известных координатах поставщика и магазинов расстояние l_{0i} может быть рассчитано по формуле:

$$l_{0i} = k_{0i} \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}, \text{ (км)}, \quad (2)$$

где k_{0i} — коэффициент непрямолинейности маршрута относительно воздушной кратчайшей связывающей

линии между поставщиком и i -м магазином, определяется с учетом фактической топологии и конфигурации дорожной сети (для упрощения расчетов может быть принят равным единице).

Совокупные затраты на магистральную транспортировку товаров G_{mag} во все магазины рассчитываются по формуле:

$$G_{mag} = \sum_{i=1}^n G_{magi}, \text{ (руб.)}. \quad (3)$$

Затраты на хранение товаров на складе в i -м магазине G_{cki} рассчитываются по формуле:

$$G_{cki} = S_{cki} \cdot Q_{pi}, \text{ (руб.)}, \quad (4)$$

где S_{cki} — тариф на хранение товаров на складе магазина, руб./т·год.

Совокупные затраты на хранение товаров на складах всех магазинов G_{ck} рассчитываются по формуле:

$$G_{ck} = \sum_{i=1}^n G_{cki}, \text{ (руб.)}. \quad (5)$$

Тогда совокупные затраты на магистральную схему G_{mc} составят:

$$G_{mc} = G_{mag} + G_{ck}, \text{ (руб.)}. \quad (6)$$

2. Затраты на развозную транспортировку товаров в каждый i -й магазин G_{pagi} рассчитываются по формуле:

$$G_{pagi} = S_{pagi} \cdot Q_{pi} \cdot l_{0i}, \text{ (руб.)}, \quad (7)$$

где S_{pagi} — тариф на развозную доставку товаров от поставщика до каждого магазина, руб./т·км; l_{0i} — рассчитывается по формуле (2).

Совокупные затраты на развозную транспортировку товаров G_{pag} во все магазины рассчитываются по формуле:

$$G_{pag} = \sum_{i=1}^n G_{pagi}, \text{ (руб.)}. \quad (8)$$

3. Затраты на доставку товаров по терминальной схеме зависят от месторасположения терминала T_A , которое может быть определено с использованием метода «центра тяжести» [6].

При расчете координат месторасположения терминала (A_x, A_y) рекомендуется учитывать объемы поставок товаров из терминала в магазины и тарифы на развоз товаров до соответствующих магазинов, чтобы приблизить терминал к получателям товаров, до которых перевозка является наиболее дорогой, для сокращения протяженности относительного дорогого развозочного плеча перевозок товаров от терминала до магазина и, как следствие, соответствующих затрат:

$$A_x = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{pi} \cdot S_{pagi} \cdot X_i)}{\sum_{i=1}^n (Q_{pi} \cdot S_{pagi})}, \quad (9)$$

$$A_y = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{pi} \cdot S_{pagi} \cdot Y_i)}{\sum_{i=1}^n (Q_{pi} \cdot S_{pagi})}. \quad (10)$$

Далее определяются расстояния перевозок от поставщика до терминала:

$$l_{0t} = k_{0t} \sqrt{(A_x - x_0)^2 + (A_y - y_0)^2}, \quad (\text{км}), \quad (11)$$

и от терминала до магазинов:

$$l_{mi} = k_{mi} \sqrt{(A_x - x_i)^2 + (A_y - y_i)^2}, \quad (\text{км}), \quad (12)$$

где k_{0t} и k_{mi} — коэффициенты непрямолинейности маршрутов относительно воздушной кратчайшей связывающей линии между поставщиком и терминалом и между терминалом и i -м магазином, которые определяются аналогично правилу для выражения (2).

Теперь могут быть рассчитаны затраты на магистральную транспортировку всех товаров от поставщика на терминал G_{mt} по формуле:

$$G_{mt} = S_{mt} \cdot Q_p \cdot l_{0t}, \quad (\text{руб.}), \quad (13)$$

где S_{mt} — тариф на магистральную доставку товаров от поставщика до терминала, руб./т·км; Q_p — суммарный объем поставки всех товаров на терминал, т.

Тариф S_{mt} может быть получен из рыночных источников или определен расчетным путем, например, как среднее арифметическое всех тарифов S_{magi} или как среднее взвешенное этих тарифов, либо может быть выбран тариф на магистральную перевозку S_{magi} до магазина, который оказался наиболее близко расположенным к терминалу.

Средневзвешенный тариф на магистральную перевозку рассчитывается по формуле:

$$S_{mt} = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{pi} \cdot S_{magi})}{\sum_{i=1}^n Q_{pi}}, \quad (\text{руб./т·км}). \quad (14)$$

Затраты на хранение товаров на терминале G_{ter} рассчитываются по формуле:

$$G_{ter} = S_{ter} \cdot Q_p, \quad (\text{руб.}), \quad (15)$$

где S_{ter} — тариф на хранение товаров на терминале, руб./т·км.

Затраты на развоз товаров во все магазины G_{pti} из терминала рассчитываются по формуле:

$$G_{pti} = S_{pagi} \cdot Q_{pi} \cdot l_{ti}, \quad (\text{руб.}). \quad (16)$$

Суммарные затраты на развозную транспортировку товаров G_{pt} из терминала во все магазины рассчитываются по формуле:

$$G_{pt} = \sum_{i=1}^n G_{pti}, \quad (\text{руб.}). \quad (17)$$

Тогда совокупные затраты на терминальную схему G_t составят:

$$G_t = G_{mt} + G_{ter} + G_{pt}, \quad (\text{руб.}). \quad (18)$$

Следует отметить, что для расчета расстояний перевозок между поставщиками, получателями и терминалами использован тривиальный метод поиска расстояния по теореме Пифагора. Однако на практике для определения кратчайших расстояний часто используются геоинформационные системы, которые позволяют получать достаточно точные сведения о кратчайших или быстрее маршрутах с учетом фактических данных о конфигурации транспортных сетей и топологии объектов логистической цепи поставок.

Окончательный выбор рационального способа доставки товаров от поставщика получателю проводится на основе сравнения совокупных затрат на реализацию каждого из способов. Результаты исследований показывают, что на величину совокупных затрат на доставку общего объема грузов влияет соотношение тарифов на перевозки (магистральные и развозные) и на хранение товаров в запасе на складах получателей и на терминалах. Поэтому экономическая эффективность каждой схемы доставки будет зависеть от совокупности конкретных условий, влияющих на величину указанных тарифов (в частности, объемов и периодичности транспортировки, вида груза, расстояний транспортировки до получателей и терминалов, используемого подвижного состава и пр.). Выбор рационального варианта доставки представляет собой типичный случай решения комбинаторной задачи, для которого могут быть использованы известные математические методы. **ИТ**

Список литературы

1. Резер С. М., Ларин О. Н., Венде Ф., Тарасов Д. Э. Модели расчета затрат на хранение товаров в логистических центрах // Транспорт: наука, техника, управление. — 2016. — № 4. — С. 3–8. — ISSN 0236–1914.
2. Ларин О. Н. Организация грузовых перевозок : учебное пособие / О. Н. Ларин. — Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2006. — 99 с.
3. Ларин О. Н. Закономерности формирования транзитного потенциала : научная монография / О. Н. Ларин, Н. К. Горяев, З. В. Альметова. — Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2012. — 188 с. — ISBN 978-5-696-04270-1.
4. Покровская О. Д., Самуйлов В. М. Организационно-технические решения при проектировании грузовых терминалов в составе международных транспортных коридоров // Инновационный транспорт. — 2015. — № 4. — С. 13–24. — ISSN 2311–164X.
5. Резер С. М. Логистические методы управления грузопотоками в материально-техническом обеспечении железных дорог / С. М. Резер, О. Н. Ларин // Транспорт: наука, техника, управление : сборник обзорной информации. — 2015. — № 9. — С. 3–6. — ISSN 0236–1914.
6. Модели и методы теории логистики / под ред. В. С. Лукинскогo. — СПб. : Питер, 2003. — 176 с.
7. Ларин О. Н. Моделирование параметров поставок товаров через терминалы / О. Н. Ларин, С. Б. Левин, З. В. Альметова, И. А. Горяева // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: экономика и менеджмент. — 2009. — № 1. — С. 185–190.



**Алексей
Алексеевич
Цариков**
Aleksey A.
Tsarikov



**Алена
Витальевна
Бачинина**
Alena V.
Bachinina



**Ольга
Юрьевна
Тапасева**
Olga Yu.
Tapaseva

Анализ основных показателей развития сетей и маршрутов пассажирского транспорта городов России

Analysis of the main indicators of the development of nets and routes of passenger transport in the cities of Russia

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы анализа основных показателей развития и функционирования сетей, а также маршрутов городского пассажирского транспорта в городах России. Особое внимание уделено вопросу соответствия показателей рекомендуемым значениям.

Ключевые слова: пассажирские перевозки, городской общественный транспорт, транспортная сеть.

Abstract

The article discusses the analysis of the main indicators of the development and operation of networks, as well as urban passenger transport routes in Russian cities. Particular attention is paid to the question of the compliance of the indicators with the recommended values.

Keywords: passenger transportation, urban public transport, transport net.

DOI:10.20291/2311-164X-2017-2-20-27

Авторы Authors

Алексей Алексеевич Цариков, канд. техн. наук, доцент кафедры «Автомобильный транспорт» Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ), Екатеринбург; e-mail: Zarikof@mail.ru | **Алена Витальевна Бачинина**, магистрант кафедры «Автомобильный транспорт» Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ), Екатеринбург; e-mail: alyona_rezh@mail.ru | **Ольга Юрьевна Тапасева**, магистрант кафедры «Автомобильный транспорт» Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ), Екатеринбург; e-mail: olga.tapaseva@yandex.ru

Alexey Alekseevich Tsarikov, Cand. of Tech. Sciences, Associate Professor of the Department of Automotive Transport of the Ural State Forest Engineering University (USFEU), Ekaterinburg; E-mail: Zarikof@mail.ru | **Alena Vitalievna Bachinina**, Master of the Department "Automobile Transport" of the Ural State Forest Engineering University (USFEU), Ekaterinburg; E-mail: alyona_rezh@mail.ru | **Olga Y. Tapaseva**, Master of the Department "Automobile Transport" of the Ural State Forest Engineering University (USFEU), Ekaterinburg; E-mail: olga.tapaseva@yandex.ru

В последние годы наметилась тенденция в изменении схем маршрутов пассажирского транспорта в городах России. Ряд городов провели локальные корректировки сети, отдельные, особенно крупные, замахнулись на коренное изменение схемы маршрутов, а в некоторых случаях на изменение системы работы транспорта в целом. В данной статье сделана попытка оценить показатели развития систем городского пассажирского транспорта в городах России.

Схема маршрутной сети городского пассажирского транспорта — одна из наиболее консервативных «вещей» в транспортной жизни любого города. Любые минимальные изменения в ее работе, даже положительные, вызывают шквал недовольства определенной группы населения. Последние 25 лет жизни российских городов прошли в ракурсе хаотичного изменения маршрутной сети пассажирского транспорта. В большинстве городов основная часть маршрутов организована еще в советские времена, и их обслуживают муниципальные перевозчики. К старым «советским» маршрутам за последние 25 лет добавились новые, которые в большей мере обслуживают частные перевозчики.

Ни у кого не вызывает сомнений, что существующие схемы маршрутов городского общественного транспорта на современном этапе требуют изменений. Стоит отметить, что в каждом отдельном городе ситуация неоднозначная и требует индивидуального анализа работы транспорта и конкретных предложений: где-то можно обойтись локальными изменениями, где-то необхо-

димо исключение массового дублирования, но есть города, в которых потребуется радикальное поэтапное изменение схемы работы общественного транспорта.

Первым показателем, который был проанализирован авторами статьи, является коэффициент маршрутизации. Напомним, что маршрутный коэффициент оценивает показатель среднего количества маршрутов на 1 км сети. Иными словами, маршрутный коэффициент — это отношение протяженности всех маршрутов к протяженности маршрутной сети, по которой они движутся (см. формулу (1)).

$$K_m = \frac{\sum L_m}{L_c}, \quad (1)$$

где K_m — маршрутный коэффициент; $\sum L_m$ — общая протяженность всех маршрутов городского пассажирского транспорта, км; L_c — общая протяженность улиц и дорог по которым проходят маршруты городского пассажирского транспорта, км.

Большинство советских руководств по организации работы пассажирского транспорта в городах указывают на то, что данный коэффициент, в зависимости от величины и конфигурации города, должен приниматься в размере от 1,5 до 4 [1] (у ряда авторов — от 2,5 до 3,5 [2]).

На рис. 1 представлен график со значениями коэффициентов маршрутизации для 58 городов России с населением 150–1500 тыс. человек.

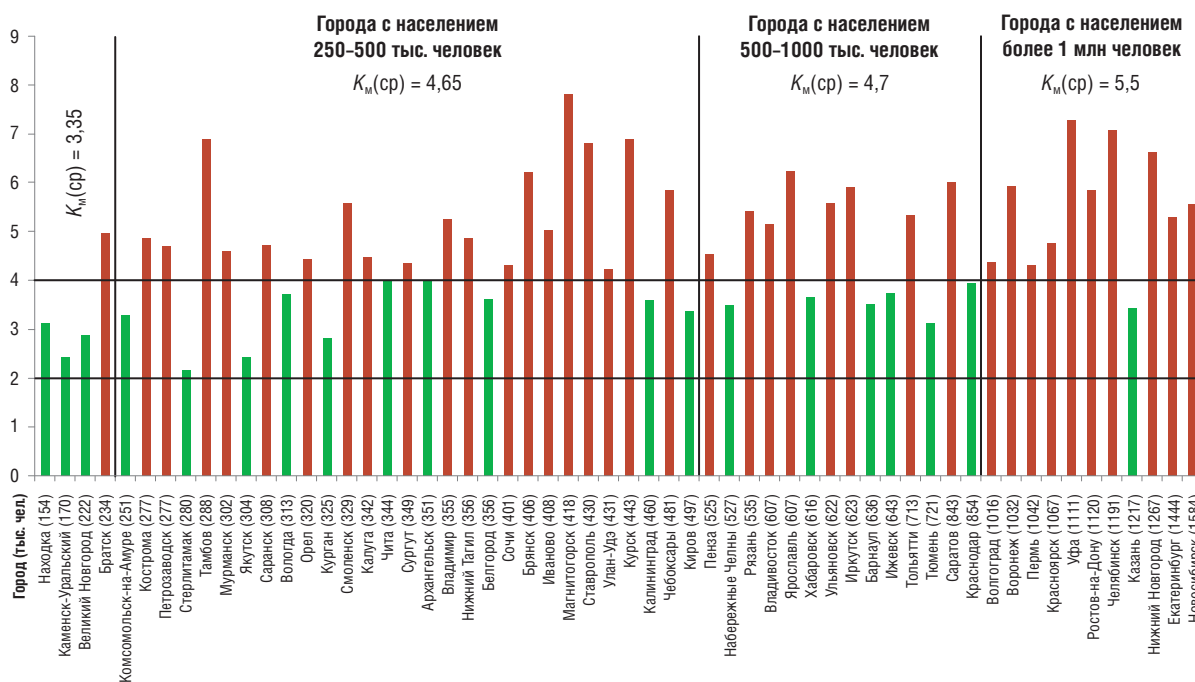


Рис. 1. Коэффициент маршрутизации в городах России

Согласно СП 42.13330.2011 [3], все города, сельские населенные пункты в зависимости от проектной численности населения на расчетный срок подразделяются на группы. В соответствии с данным сводом правил, города с населением более 1 млн жителей относятся к крупнейшим городам, города с населением 250–500 тыс. жителей и 500–1000 тыс. жителей относятся к группе крупных городов (с выделением отдельных подгрупп), а города с населением 100–250 тыс. жителей считаются в данной классификации большими. Все рассматриваемые ниже показатели развития сетей пассажирского транспорта городов России были разделены для наглядности в разрезе городов на аналогичные группы по численности населения.

Как видно из рис. 1, только 20 из 58 проанализированных российских городов укладываются в рекомендованные значения маршрутного коэффициента 1,5–4. В большей мере это города с населением менее 500 тысяч человек. Другие 38 городов имеют маршрутный коэффициент в параметрах от 4 до 8 единиц. Маршрутную сеть этих городов можно охарактеризовать как избыточную, которая требует отмены дублирующих маршрутов. Необходимо отметить, что с ростом численности городов растет и маршрутный коэффициент городского пассажирского транспорта. Расчет среднего значения маршрутного коэффициента для каждой группы городов показал, что города с населением менее 250 тыс.

жителей имеют $K_{M(ср)} = 3,35$. В городах с населением 250–500 тыс. жителей данный показатель несколько выше и составляет 4,65. Наибольшие значения маршрутного коэффициента зафиксированы в городах с населением более 1 млн жителей: $K_{M(ср)} = 5,5$.

Следующими показателями, которые оценивали авторы, стали общее и относительное значения количества маршрутов городского пассажирского транспорта. Общая численность маршрутов в отдельно взятом городе — важный показатель, но сложно поддается сравнению для городов разной крупности. Как видно из рис. 2, наибольшее количество маршрутов зафиксировано в городе Нижнем Новгороде и составляет 150 единиц. Такое количество маршрутов подтверждает высокий маршрутный коэффициент, который требует значительного снижения.

В следующем по значению городе — Новосибирске организовано 149 маршрутов общественного транспорта, но при этом сам город имеет численность населения на 25% больше, чем Нижний Новгород.

Для оценки количественного показателя маршрутов отдельно были проведены расчеты среднего количества маршрутов по каждой группе городов. Как видно из рис. 2, города с населением менее 250 тыс. жителей в среднем имеют по 29 маршрутов. Города группы 250–500 тыс. — по 49 маршрутов. Наибольшее значение отмечено в городах с населением более миллиона жителей: $N_{M(ср)} = 116$.

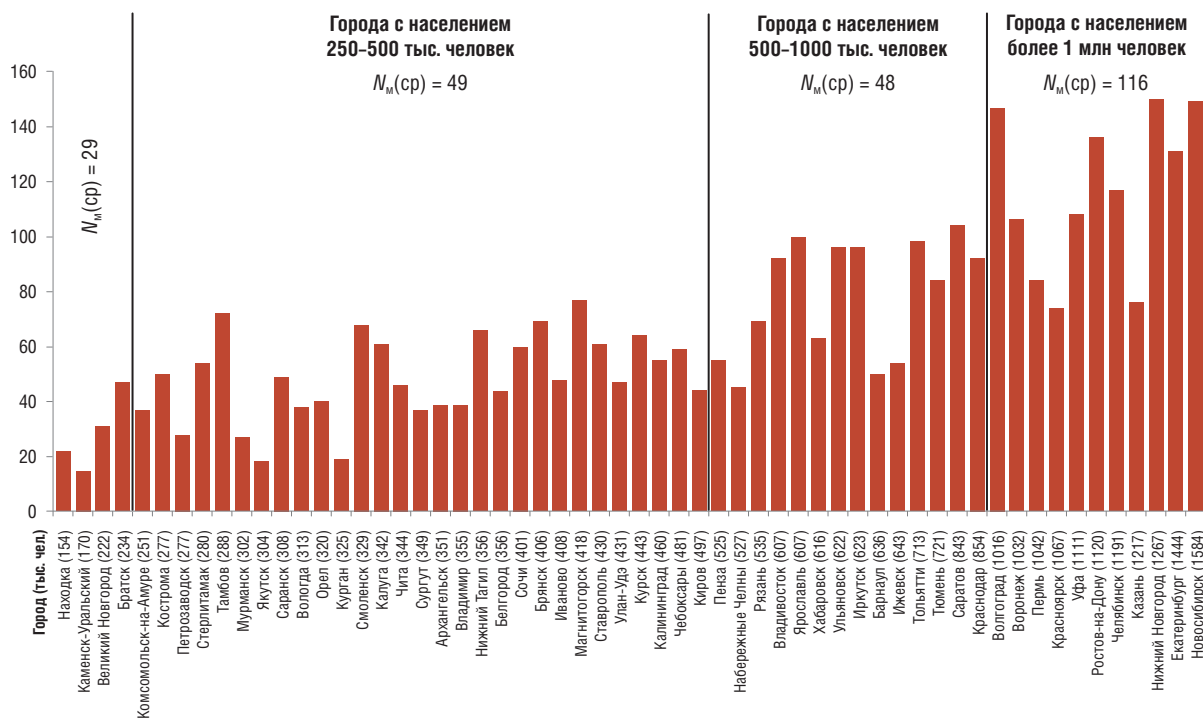


Рис. 2. Оценка общего количества маршрутов в городах России

Проанализировав рис. 2, можно сделать вывод, что города одного и того же размера имеют разное количество маршрутов, значение которых может отличаться в 2–3 раза.

Для относительной оценки количества маршрутов в городах России приводятся значения количества маршрутов на 100 тысяч жителей. Для этого количество маршрутов делится на численность населения города и умножается на 100 000 (см. формулу (2)).

$$K_{100\text{т}}^M = \frac{H_n \cdot 100000}{\text{Ч}}, \quad (2)$$

где $K_{100\text{т}}^M$ — количество маршрутов на 100 тыс. жителей, ед.; Ч — численность населения города, жителей; H_n — количество действующих маршрутов городского пассажирского транспорта, ед.

На рис. 3 представлены относительные значения количества городских маршрутов. Как видно из рисунка, лидером по относительному количеству маршрутов является город Тамбов, здесь 25 маршрутов приходится на 100 тыс. жителей города. Из группы городов с населением более 1 млн жителей необходимо отметить Ростов-на-Дону — 12,1 маршрута и Волгоград — 14,5 маршрута на 100 тыс. жителей.

Расчет средних значений по каждой группе городов показал, что большие города имеют в среднем 14,3 маршрута, крупные города — 13,7 маршрута, а города с населением более 1 млн жителей — 9,8 маршрута на 100 тыс. жителей. Таким образом, по мере роста численности населения города снижается относительное количество маршрутов на 100 тысяч жителей.

Как указывается в отечественной и зарубежной литературе, небольшое количество маршрутов должно способствовать росту количества пассажиров на маршруте, что приведет к использованию подвижного состава большого класса. Конечно, данное утверждение имеет свои исключения, но снижение количества дублируемых маршрутов приводит к увеличению объема перевозок пассажиров по отдельному маршруту. В 60-е годы XX столетия Академия коммунального хозяйства рекомендовала для городов различной крупности определенные сочетания видов транспорта, например: трамвай и автобус, троллейбус и автобус и т.д. [1]. Нарушения данных рекомендаций, возможно, стали основными причинами снижения экономических показателей работы городского пассажирского транспорта, в особенности муниципального, который работает на подвижном составе большого и особо большого класса.

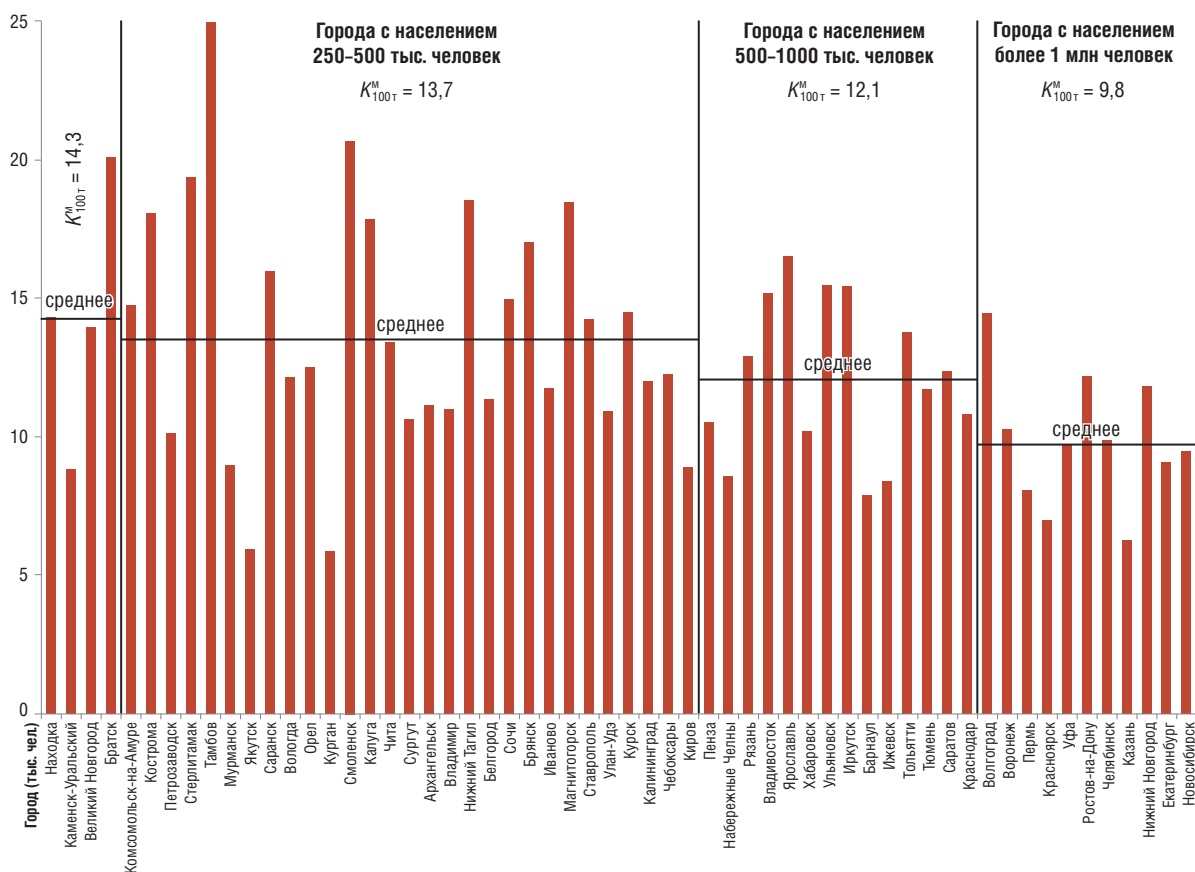


Рис. 3. Относительное количество маршрутов в городах на 100 тыс. жителей

Следующий параметр, который необходимо рассмотреть, — это показатель протяженности сети, которую использует общественный транспорт города для движения по маршрутам. Проанализировав рис. 4, можно сделать вывод, что по мере роста численности населения города растет и протяженность сети общественного транспорта.

Необходимо отметить, что плотность застройки городов, различных по численности населения, значительно отличается — даже города с населением более 1 млн жителей имеют разную плотность и этажность застройки. В целом рис. 4 показывает, что по мере роста численности города растет протяженность его сети. Протяженность сети — это один из показателей, который не может расти в значительных пределах в течение короткого времени. На современном этапе большая часть улиц и дорог, по которым возможно движение общественного транспорта, уже используется. Для увеличения их количества необходимы значительные финансовые вложения. Поэтому данный показатель, скорее всего, не претерпит существенных изменений в городах РФ в ближайшие годы.

Немаловажным показателем в анализе развития городского пассажирского транспорта является общая протяженность маршрутов. Как видно из рис. 5, по мере роста численности городов растет общая протяженность маршрутов. В отличие от протяженности сети, маршруты могут меняться в значительных пределах как в сторону увеличения, так и в сторону снижения. При относительно стабильном значении показателя протяженности сети протяженность маршрутов, а по своей сути, и сама

схема маршрутной сети, будет оказывать существенное влияние на маршрутный коэффициент.

У большинства городов, особенно крупнейших, маршрутный коэффициент значительно (в разы!) превышает рекомендованные значения. В связи с этим протяженность маршрутов, указанная на рис. 5, имеет значительный разброс для городов, близких по численности населения. Так, например, город Волгоград имеет протяженность маршрутов в двух направлениях 5635 км. Аналогичный по численности населения Воронеж — 3444 км, что на 39 % меньше. Такая разница в протяженности маршрутов в городах соизмеримого размера показывает отличие в подходах к формированию маршрутной сети.

Для того чтобы обозначить параметры протяженности отдельных маршрутов городского пассажирского транспорта, составлена диаграмма, на которой отмечена средняя протяженность всех маршрутов по всем рассматриваемым нами городам. На диаграмму наносится отдельными линиями средняя протяженность маршрутов для каждой отдельной группы городов по приведенной ранее классификации. Данная диаграмма представлена на рис. 6.

Как видно из рис. 6, с ростом численности населения города увеличивается средняя протяженность их маршрутов. Группа больших городов представлена в нашем исследовании четырьмя городами.

В этой группе средняя протяженность маршрутов составляет 25,3 км. Следующая группа городов, с населением 250–500 тыс. жителей, имеет большую среднюю протяженность маршрутов и достигает $L_{M(ср)} = 28,2$ км.

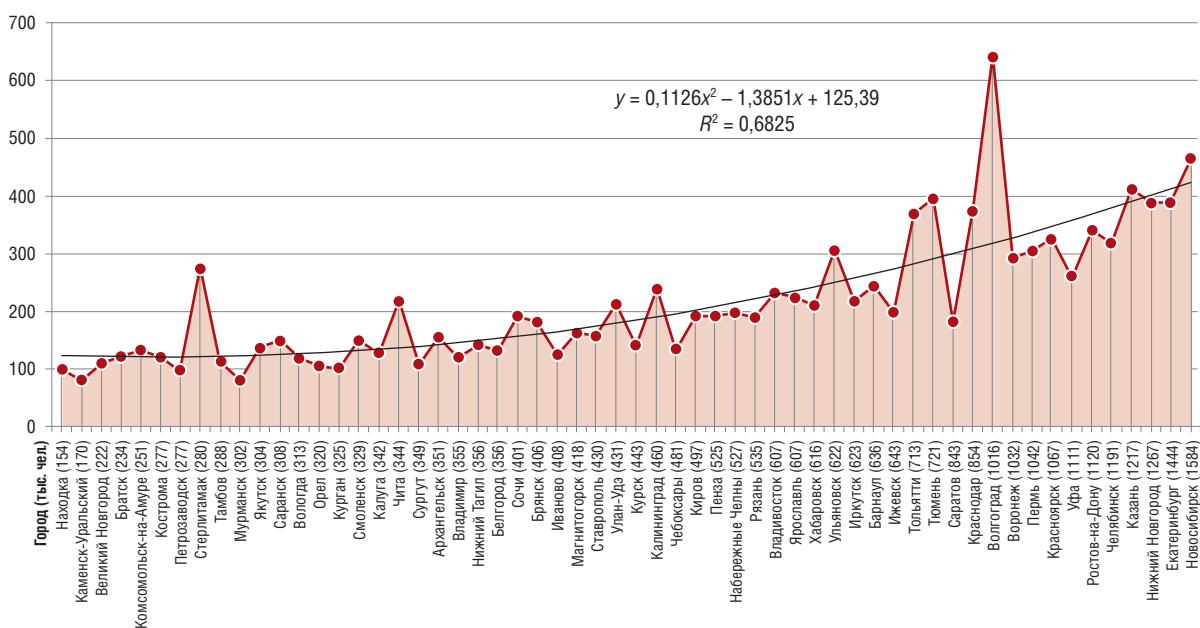


Рис. 4. Протяженность маршрутной сети в городах РФ

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

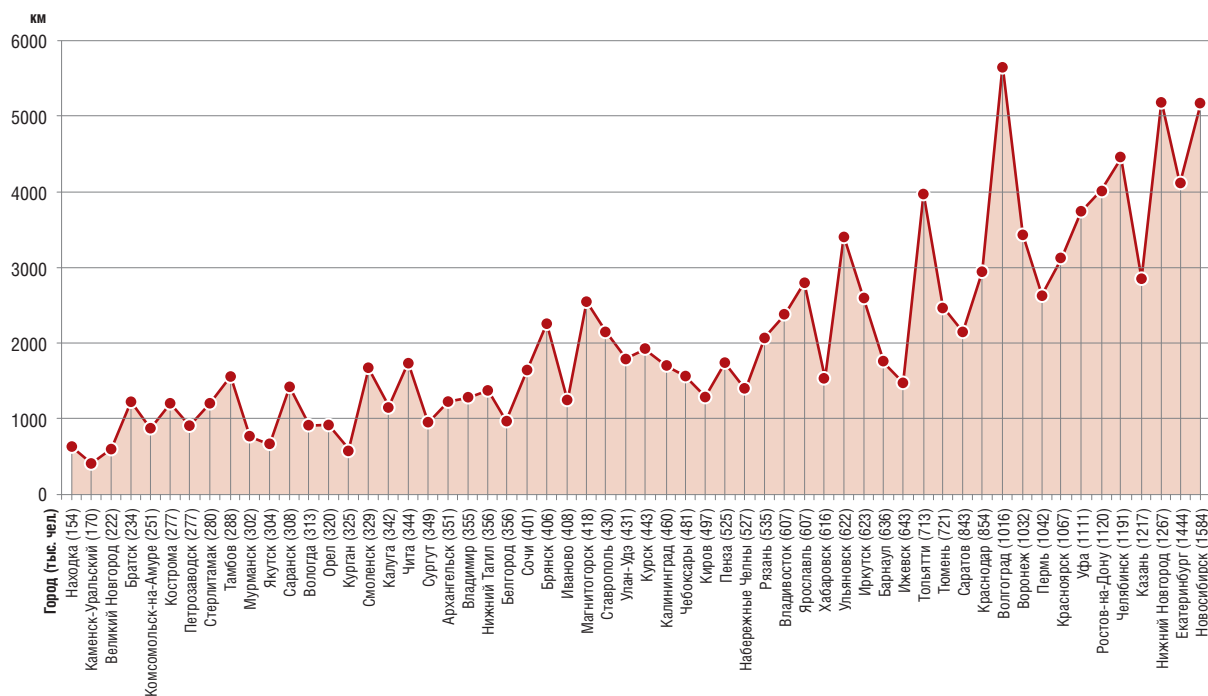


Рис. 5 Общая протяженность маршрутов в городах РФ

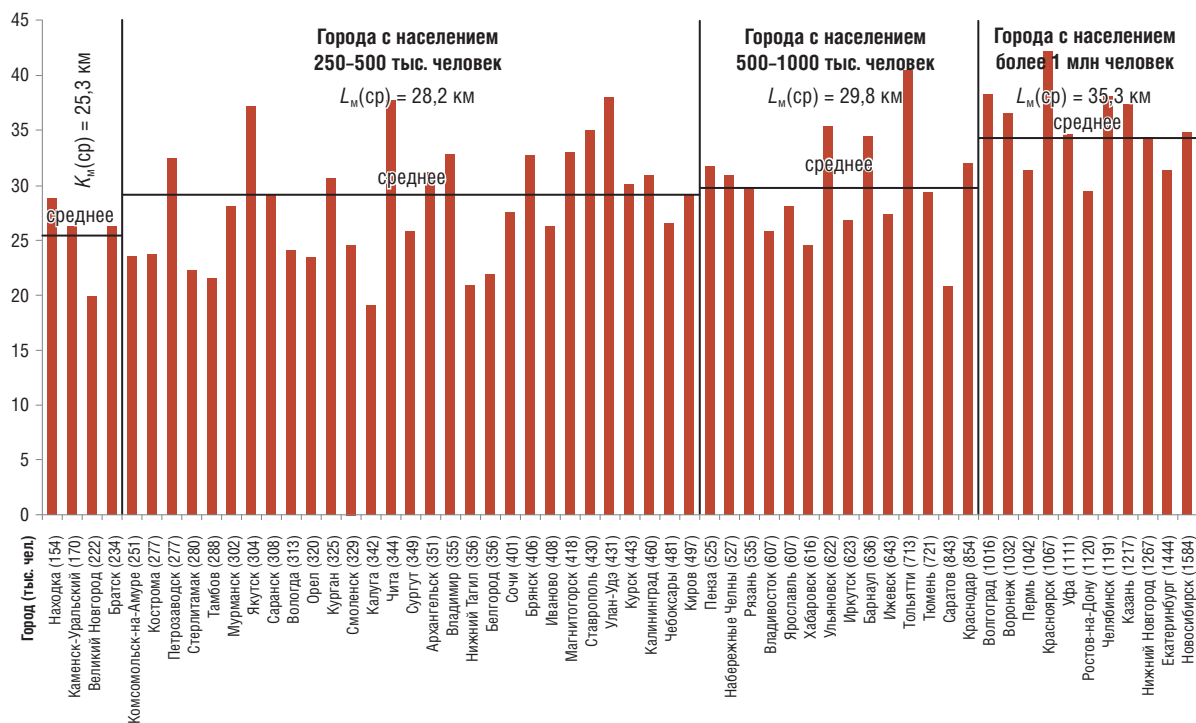


Рис. 6. График средней протяженности маршрутов по отдельным городам России

Наибольшую среднюю протяженность маршрутов имеют города с населением более 1 млн жителей — протяженность $L_{м(ср)} = 35,3$ км.

Таким образом, исходя из данных рис. 6, можно сделать вывод: одновременно с ростом численности населения городов растут их пространственные размеры, которые, в свою очередь, сказываются на протяженности маршрутов.

На данный момент в практике проектирования маршрутных схем городского пассажирского транспорта не выработано каких-либо нормативов, определяющих предельную длину маршрута. В реальных условиях встречаются как довольно длинные маршруты протяженностью 18–20 км, так и короткие маршруты, длиной 3–4 км. Для проектирования рекомендованная максимальная продолжительность маршрута должна составлять не более 1 часа следования в один конец, чтобы создать оптимальные условия для работы бригад — водитель и кондуктор должны иметь перерыв не реже, чем через час работы. При определении минимально возможной длины маршрута чаще всего принимается такое значение, при котором длина маршрута не должна быть меньше расстояния, на преодоление которого пешком затрачивается 30 минут. Таким обра-

зом, протяженность маршрута должна быть не более 15–18 км и не менее 2–2,5 км [4].

Проведем анализ протяженности маршрутов на соответствие приведенным выше параметрам. Маршрут городского транспорта в двух направлениях (оборотный рейс) не должен превышать значения 36 км и не должен быть менее 5 км. Для этого определяется доля маршрутов по отдельным городам, которые не соответствуют данным параметрам (рис. 7).

Как видно из рис. 7, в городах с населением 250–500 тыс. жителей только два города не имеют маршрутов длиннее 36 км и короче 5 км. В группе городов с населением 500–1000 тыс. жителей и в группе городов с населением более 1 млн жителей нет ни одного города, соответствующего перечисленным выше параметрам протяженности маршрутов. В городах с населением более 1 млн жителей количество маршрутов, не соответствующих по протяженности рекомендуемым параметрам, составляет от 25 до 64%. Лидером в этом отношении является Красноярск — около 68% маршрутов по своей протяженности не соответствуют рекомендациям. При этом в городах с населением более 1 млн жителей в среднем 41,2% всех маршрутов общественного транспорта не соответствуют рекомендованной протяженности.

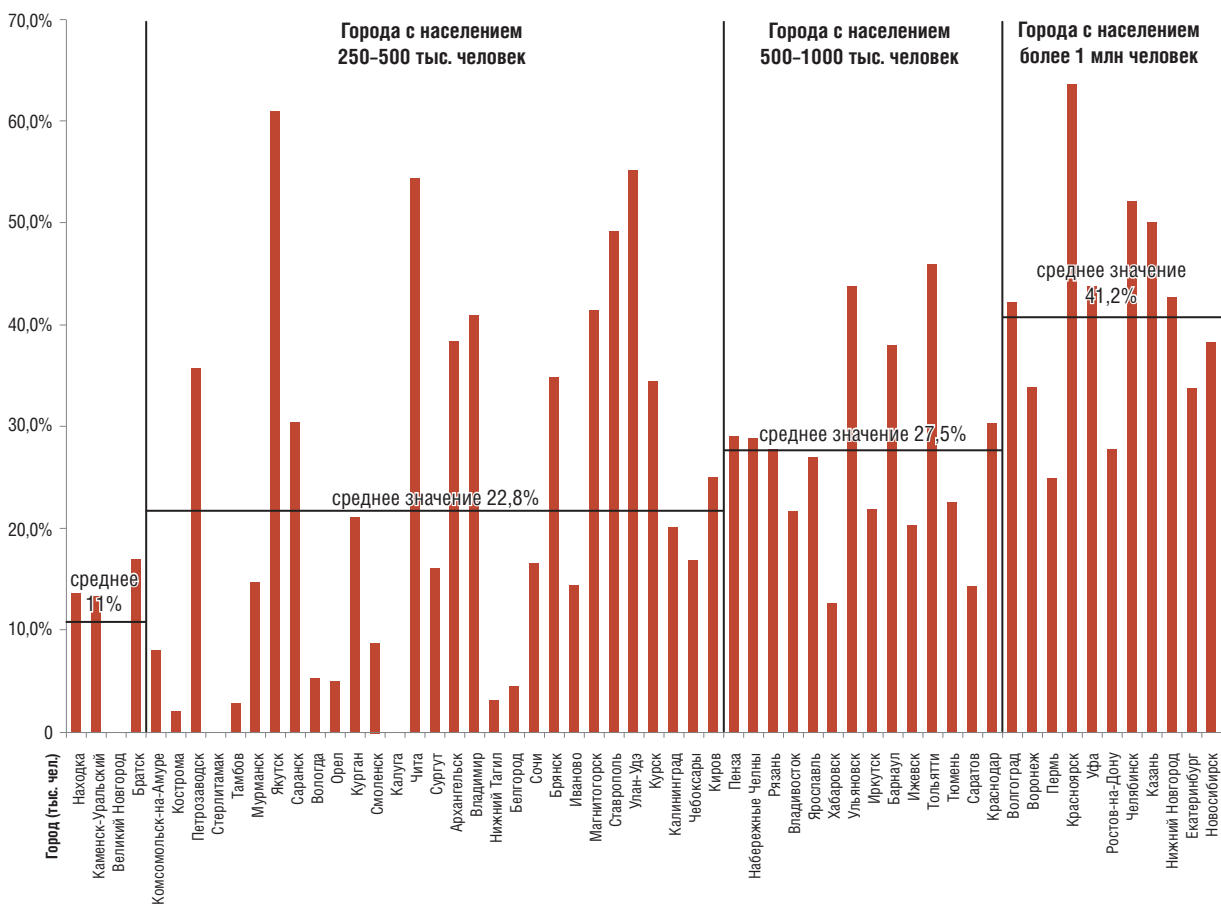


Рис. 7. Доля маршрутов от общего количества, по своей протяженности не соответствующих рекомендованным значениям

В городах с населением 500–1000 тыс. жителей от 14 до 43% маршрутов не соответствуют параметрам протяженности. В этой группе городов протяженность маршрутов можно считать наиболее оптимальной, так как большинство из них имеют продолжительность следования подвижного состава в один конец не более 1 часа. При этом среднее значение доли маршрутов, не соответствующих рекомендуемым требованиям, составляет 27,5%.

Наибольший разброс в доле маршрутов, не соответствующих по протяженности рекомендованным параметрам, показала группа городов с населением 250–500 тыс. жителей. В одной группе доля маршрутов, по своей протяженности не соответствующих рекомендованным значениям, составляет от 0 до 55%. Это значит, что присутствуют города как с оптимальной протяженностью маршрутов, так и с большим количеством длинных или коротких маршрутов.

В заключение необходимо отметить, что анализ основных показателей развития сетей и маршрутов пассажирского транспорта в городах — одна из важнейших процедур не только на стадии проектирования сети, но и на стадии ее функционирования. Анализ развития маршрутной сети позволит в первом приближении обнаружить проблемы в работе городского пассажирского транспорта и предложить комплекс мероприятий по их устранению. Вступление в силу закона ФЗ-220 [5] требует нового подхода к организации перевозок пассажиров в городах Российской Федерации. Организация конкурсов на осуществление перевозок требует анализа работы общественного транспорта как с точки зрения пассажиропотоков, так и с точки зрения развития маршрутной сети. Любые изменения маршрутной сети — как локальные, так и радикальные — требуют предварительного анализа, которым, к сожалению, на современном этапе пренебрегают в городах РФ. **ИТ**

Список литературы

1. Страментов А. Е., Сосянц В. Г., Фишельсон М. С. Городской транспорт и организация движения : учебное пособие. — М. : Изд-во Министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1960. — С. 68–69.
2. Приказ Минавтотранса РСФСР от 31.12.1981 № 200.
3. СП 42.13330.2011. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01–89.
4. Методические указания по проектированию сетей общественного транспорта, улиц и дорог. — Вып. 1. — М. : ЦНИИП градостроительства, 1968. — 125 с.
5. Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон № 220-ФЗ от 13.07.2015.



**Марина
Аркадьевна
Журавская**

**Marina A.
Zhuravskaya**



**Александр
Александрович
Шевцов**

**Alexander A.
Shevtsov**



**Ольга
Юрьевна
Морозова**

**Olga Y.
Morozova**

Оценка значимости объектов мультимодальной транспортной сети на территориях с суровыми климатическими условиями

Assessment of the importance of multimodal transport network facilities in areas with harsh climatic conditions

Аннотация

В работе определены роль и значение мультимодальной транспортной сети для территории Республики Саха (Якутия) — региона с суровыми климатическими условиями. Проанализирован опыт европейских и, в частности, скандинавских стран при интеграции мультимодальных технологий в реально действующую транспортно-логистическую сеть. Проанализирован транспортно-логистический потенциал Якутии. Определена значимость населенных пунктов как потенциальных мультимодальных центров транспортно-логистической сети на основе методов комбинаторной оптимизации.

Ключевые слова: объекты транспортно-логистической инфраструктуры, мультимодальная транспортная сеть, ABC-анализ, методы комбинаторной оптимизации.

Abstract

The role and importance of a multimodal transport network for the territory of the Republic of Sakha (Yakutia) — a region with harsh climatic conditions are defined. The experience of European and, in particular, Scandinavian countries is analyzed with the integration of multimodal technologies into a real operating transport and logistics network. The transport and logistic potential of Yakutia is analyzed. The importance of settlements as potential multimodal centers of transport and logistics network based on combinatorial optimization methods is determined.

Keywords: objects of transport and logistics infrastructure, multimodal transport network, ABC-analysis, combinatorial optimization methods.

DOI:10.20291/2311-164X-2017-2-28-34

Авторы Authors

Марина Аркадьевна Журавская, канд. техн. наук, доцент кафедры «Мировая экономика и логистика» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | Александр Александрович Шевцов, студент кафедры «Мехатроника» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | Ольга Юрьевна Морозова, старший преподаватель кафедры «Мировая экономика и логистика» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

Marina Arkadevna Zhuravskaya, Cand. of Tech. Sciences, Associate Professor of the Department "World Economy and Logistics" of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg | Alexander Aleksandrovich Shevtsov, student of the department "Mechatronics" of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg | Olga Yur'evna Morozova, Senior Lecturer, Department of World Economy and Logistics, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg

Роль и значение мультимодальной транспортной сети для развития территорий с суровыми климатическими условиями

Регионы с благоприятными для жизнедеятельности людей природными условиями занимают в России всего около трети ее площади. Значительная же часть РФ (примерно 65%) располагается на территориях с экстремальными погодными условиями. Однако именно в этих областях сосредоточена основная масса полезных ископаемых России, и роль мультимодальной транспортной сети здесь усиливается многократно, так как стоимость строительства и эксплуатации наземных видов транспорта особенно высока. В силу неразвитости транспортной сети на территориях с суровыми климатическими условиями унимодальные перевозки (одним видом транспорта) не могут обеспечить весь транспортный спрос — необходимо комбинировать различные виды транспорта, развивать мультимодальную транспортную сеть.

Мультимодальная транспортная сеть России имеет сложную структуру, включающую в себя автомобильный, железнодорожный, водный, воздушный транспорт. При этом она должна постоянно развиваться на основе оптимизации существующих транспортных путей и создания новых путей и средств перемещения (например, аэропоездов [1] или автопоездов [2] и др.). Непрерывность развития мультимодальной транспортной сети становится залогом стабильного роста экономики как страны в целом, так и ее отдельных регионов, включая территории с суровым климатом и экстремальными условиями жизнедеятельности человека.

В качестве объекта исследования авторы выбрали высокоширотный регион — Республику Саха (Якутия). Предмет исследования — действующая транспортная сеть Якутии. Целью данной работы стала оценка значимости городов Якутии при формировании мультимодальной транспортной сети Республики Саха.

Поставлены следующие задачи:

- анализ существующей транспортной сети Якутии;
- ее оптимизация, в том числе с использованием программных средств MatLab;
- сравнение полученной и действующей транспортной сети.

Республика Саха, несмотря на суровый климат, обусловленный расположением на высоких широтах, представляет привлекательную для инвестиций экономическую среду. Уровень развития экономики Якутии, благодаря сочетанию выгодного для взаимодействия с другими регионами географического положения и наличия обширной сырьевой базы, представлен-

ной практически всеми видами полезных ископаемых, оказывает прямое влияние на социальную среду. Однако для того, чтобы достичь положительных результатов в улучшении социально-экономических показателей, необходима обширная и эффективно работающая мультимодальная транспортная сеть, с одной стороны, учитывающая суровые климатические условия, а с другой стороны, построенная с использованием лучшего мирового опыта.

Опыт зарубежных стран

В последние годы в европейских странах особенно активно происходит интеграция мультимодальных технологий в реально действующую транспортно-логистическую сеть. Ярким примером такой интеграции является проект Трансъевропейской транспортной сети (TEN-T) [3]. Трансъевропейская транспортная сеть включает автодороги, железнодорожные магистрали, водные пути (речные и морские), аэропорты, а также железнодорожные и автодорожные терминалы обслуживания в 28 государствах — членах ЕС. Данная сеть строится на основе концепции бесшовной транспортной сети, в ней используются мультимодальные технологии на существующей или планируемой инфраструктуре, по единой методологии, которая соответствует общим европейским стандартам качества и безопасности.

Цель проекта состоит в том, чтобы преобразовать уже существующее «лоскутное одеяло» европейских автомобильных и железных дорог, аэропортов и водных каналов в единую транспортную сеть (TEN-T) [4]. Результатом станет модернизированная инфраструктура и упрощенные трансграничные и транспортные операции для пассажиров и предприятий во всех странах, взаимодействующих и входящих в состав ЕС.

Одним из участков проекта Трансъевропейской транспортной сети, требующих особого внимания, являются скандинавские страны (Швеция, Норвегия и часть Финляндии). В этих странах осуществление проекта было затруднено в силу ряда причин: климатических, экологических, почвенно-земельных [5–6]:

1. Скандинавская зима суровая, в частности, для стран Швеции, Норвегии и части Финляндии она характеризуется обильными осадками в виде снега.

2. Экологическая составляющая любой транспортной инновации в Швеции, Норвегии и других странах Скандинавского полуострова является одной из первоочередных задач, для решения которой необходимо применение различных технических решений.

3. Почва в этих странах из-за особенности расположения горных хребтов и тектонических плит на глубине 2–3 метров очень твердая, что также серьезно замедляет развитие мультимодальной транспортной сети.

Для решения перечисленных задач в ЕС была разработана программа «Зеленый поезд» [7], в которой приняли участие высшие учебные заведения, менеджеры транспортно-логистической инфраструктуры, железнодорожные компании и производители поездов. Общая стоимость проекта составила около 20,5 млн евро (табл. 1) [3].

Таблица 1

Финансирование проекта «Зеленый поезд» в скандинавских странах

Общая стоимость проекта: € 20,574,000	Бюджет Швеции: € 14,445,000	Процент поддержки со стороны ЕС: исследования — 50 % пусковые средства — 30 % работы — 20 %
	Вклад ЕС: € 6,129,000	

Результатом реализации проекта «Зеленый поезд» стали следующие показатели [7]:

1) снижение тарифов на стоимость проезда железнодорожным транспортом на 20 % за счет увеличения скорости и вместимости нового поезда;

2) соблюдение европейских стандартов качества, безопасности и экологии, а также разработка и испытания новых двигателей, которые используют в качестве тяги магнитный поток;

3) снижение потребления электрического тока на 10–15 % за счет новой аэродинамической формы, уменьшение вероятности появления аварийной ситуации из-за снежных осадков.

Для достижения таких показателей в проекте были применены задачи комбинаторной оптимизации, методы искусственного интеллекта, а также генетические и нейронные методы.

Опыт скандинавских стран при организации мультимодальной транспортной сети, безусловно, достоин изучения и в РФ, особенно для территорий с суровыми климатическими условиями.

Опыт и перспективы развития мультимодальной транспортной сети в Российской Федерации

В условиях плановой экономики (во времена СССР) взаимодействие различных видов транспорта осуществлялось в рамках единой транспортной системы (ЕТС), и тут можно говорить о хорошем, значимом опыте Рос-

сии в плане организации и функционирования транспортной сети. Но рыночная экономика с ее межвидовой конкуренцией, в том числе в транспортной отрасли, ликвидировала идеологию ЕТС. Однако потребность в транспортно-логистической сети РФ без разрывов, с преобразованием «лоскутного одеяла» российских автомобильных и железных дорог, аэропортов и водных каналов в единую транспортную сеть в последнее время становится все более очевидной. Так, в транспортной стратегии России на период до 2030 года [8] определены следующие задачи:

1) формирование опорной транспортной сети без разрывов и узких мест;

2) ликвидация диспропорций в уровне развития транспортной инфраструктуры в отдельных регионах страны;

3) реализация приоритетных инфраструктурных проектов, обеспечивающих единство транспортной системы;

4) развитие опорной транспортной сети на принципах национальных транспортных коридоров;

5) стыковка национальных транспортных коридоров России с международными транспортными коридорами европейской и азиатской транспортных систем.

Справиться с поставленными задачами под силу новой идеологии — мультимодализму, который объединит конкурентов транспортно-логистической отрасли в единые цепи перевозок.

Транспортно-логистический потенциал Якутии

Якутия обладает огромными запасами полезных ископаемых (уголь, нефть, асбест, мел, уран, вольфрам, тантал и пр. [9]), которые распределены по всей территории республики (табл. 2).

Такое количество полезных ископаемых и их разработка делают Якутию одним из самых перспективных регионов. Очевидно, что республике требуется разветвленная и обширная транспортно-логистическая сеть. Однако более 85 % территории Якутии имеет лишь сезонную транспортную доступность, и всего 15 % территории — круглогодичную. В своей статье [10] автор отмечает, что плотность железнодорожных путей составляет 2 км на 10 тыс. км², что примерно в 25 раз меньше, чем в среднем по России. На данный момент в Якутии эксплуатируется около 490 км железнодорожных путей и 7,5 тыс. км автодорог с твердым покрытием, соединяя между собой лишь отдельные районы. Автор статьи [11] констатирует, что из 33 районов (улусов) Республики Саха 25 не имеют надежной транспортной связи.

Месторождения и разработка полезных ископаемых

Название месторождения	Основное полезное ископаемое	Сопутствующее полезное ископаемое	Освоенность
Чаядинское	газ	нефть	отрабатывается
Талаканское	нефть	природный газ	отрабатывается
Эльгинское	уголь		первичная обработка
Нерюнгринское	уголь		отрабатывается
Тарыннахское	железная руда		отрабатывается
Таежное	железная руда	бор	отрабатывается
Томтор	ниобий, иттрий, др. редкозем. мет.	фосфор, скандий, ванадий, титан	государственный резерв
Эльконское (Южное)	уран	золото	геологоразведочные работы
Тирехтях	олово	вольфрам	отрабатывается
Депутатское	олово	вольфрам	отрабатывается
Сентачан	сурьма	золото	первичная обработка
Верхне-Менкеченское	серебро	цинк, свинец	отрабатывается
Прогноз	серебро	цинк, свинец	геологоразведочные работы
Кючус	золото	сурьма	геологоразведочные работы
Куранахская группа	золото	серебро	отрабатывается
Нежданское	золото	серебро	отрабатывается

Моделирование мультимодальной транспортной сети на основе методов комбинаторной оптимизации

С целью охвата всех населенных пунктов Якутии и увязки их в единую мультимодальную сеть авторы настоящей статьи применили методы комбинаторной оптимизации, в частности задачу коммивояжера, которая позволяет смоделировать маршрут (гамильтоновыи цикл), проходящий через все населенные пункты по одному разу и заканчивающийся в исходном пункте. Результатом стало появление более 600 различных комбинаторных маршрутов. Кратчайший путь между населенными пунктами Якутии — потенциальными мультимодальными центрами приведен на рис. 1. Решение моделировалось в программной среде MatLab.

Полученное решение схоже с реальным расположением всех видов путей для различных видов транспорта. Однако полученная конфигурация не позволяет внедрить мультимодальную технологию *Hub and spoke* (ступица и спица), при которой хабы (мультимодальные центры) смогут концентрировать работу различных видов транспорта. Поэтому авторам было важно определить значимость каждого населенного пункта Якутии при интеграции его в мультимодальную транспортную сеть. С этой целью проведен АВС-анализ административных центров (улусов). Необходимо отметить, что ранее авторами уже использовался метод АВС-анализа для оценки населенных пунктов [12], который показал адекватные результаты. В настоящей работе АВС-анализ проведен по двум показателям: население (качественный показатель) и территория (количественный показатель). Результаты анализа представлены в табл. 3.

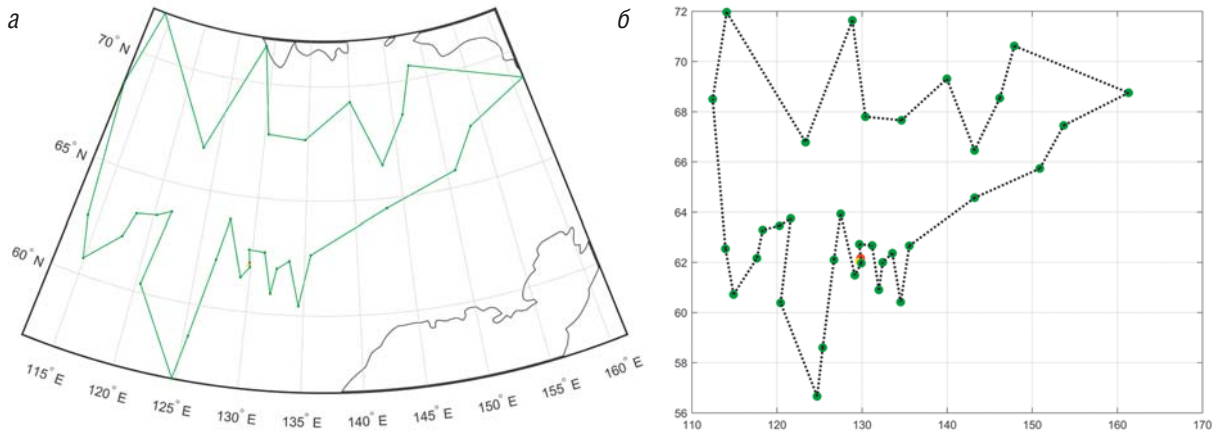


Рис. 1. Результат решения задачи коммивояжера: а — в сферических координатах; б — в декартовой системе координат

Для определения номенклатурных групп А, В или С использовался эмпирический метод, при котором деление на группы можно выполнить по аналогии, и поэтому границы групп выбираются по результатам ранее проведенных исследований. Так, зачисление в группу А происходит, если качественный показатель достигает значения 80 %, а количественный 20 %. Но такая идеальная картина в жизни встречается не всегда, поэтому авторы исследования усреднили значения этих двух показателей, и в группу А вошли административные центры с соотношением качества к количеству как 70 %: 30 %. В группу А вошли 10 населенных пунктов, аналогично были сформированы группы В и С.

Далее была сформулирована и решена комбинированная задача коммивояжера, включающая в себя взаимодействие между центрами только одной группы — либо А, либо В, либо С. Результаты решения комбинированной задачи представлены на рис. 2. Для простоты восприятия данная задача также представлена в декартовой системе координат.

Очевидно, что населенные пункты группы А сосредоточены в южной части Республики Саха.

Интересной гипотезой при оценке объектов мультимодальной транспортной сети стало утверждение о важности населенных пунктов, находящихся на пересечении маршрутов разных групп А–В, А–С и В–С (рис. 3).

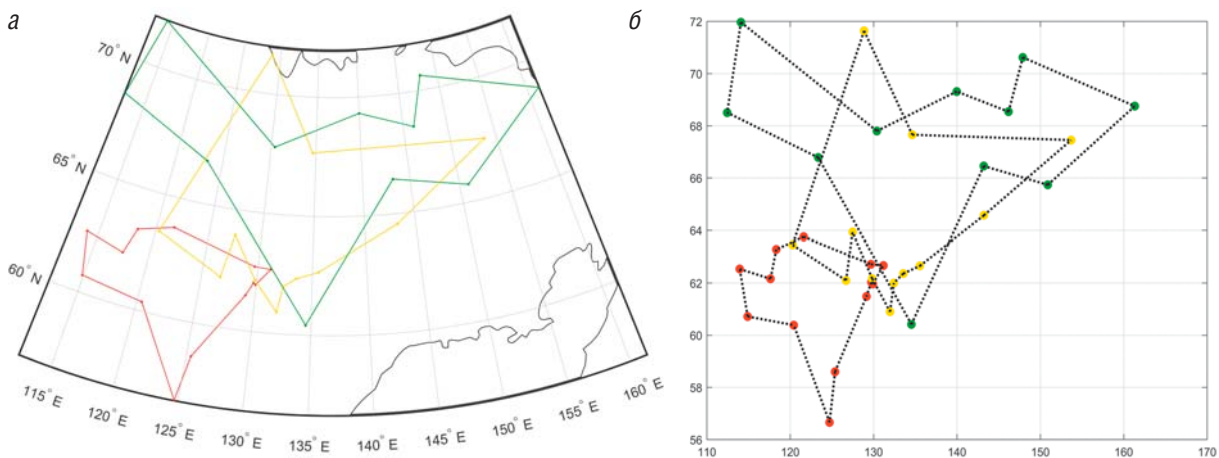


Рис. 2. Комбинированное решение задачи коммивояжера: а — в сферических координатах; б — в декартовой системе координат

Таблица 3

АВС-анализ населенных пунктов Якутии

№	Городские округа и районы (Улуусы)	Административный центр	Население, тыс. чел.	Территория, тыс. км ²	Показатель				Усредненный	
					Качественный		Количественный			
					Нараст. %	Группа	Нараст. %	Группа		
2	Городской округ «Город Якутск»	город Якутск	320,595	3,6	33,40	A	0,12	A	70% : 30%	
21	Нерюнгринский	город Нерюнгри	75,973	93	41,32		3,24			
18	Мирнинский	город Мирный	72,221	165,8	48,84		8,79			
4	Алданский	город Алдан	40,431	156,8	53,06		14,05			
16	Ленский	город Ленск	37,616	77	56,97		16,63			
34	Хангаласский	город Покровск	32,287	24,7	60,34		17,46			
17	Мегино-Кангаласский	пгт Нижний Бестях	30,629	11,7	63,53		17,85			-20%
26	Олекминский	город Олекминск	25,341	166,7	66,17		23,44			B
12	Вилуйский	город Вилуйск	24,77	55,2	68,75		25,29			
23	Нюрбинский	город Нюрба	24,28	52,4	71,28		27,04			
20	Намский	село Намцы	24,184	11,9	73,80	27,44				
28	Сунтарский	село Сунтар	23,764	57,8	76,28	29,38				
31	Усть-Алданский	село Борогоңцы	20,988	18,3	78,46	29,99	-80%			
9	Верхневилуйский	село Верхневилуйск	20,886	43,2	80,64	31,44				
35	Чурапчинский	село Чурапча	20,718	12,6	82,80	31,86				
6	Амгинский	село Амга	16,674	29,4	84,54	32,85				
29	Таттинский	село Ытык-Кюель	16,337	18,98	86,24	33,49				
30	Томпонский	пгт Хандыга	13,241	135,8	87,62	38,04	C			
15	Кобяйский	пгт Сангар	12,755	107,8	88,95	41,65				
13	Горный	село Бердигестях	11,88	45,6	90,18	43,18				
11	Верхоянский	пгт Батагай	11,371	24,7	91,37	44,01				
1	Городской округ Жатай	пгт Жатай	9,29	0,022	92,34	44,01				
24	Оймяконский	пгт Усть-Нера	9,017	92,2	93,28	47,10				
8	Булунский	пгт Тикси	8,366	235,1	94,15	54,98				
27	Среднеколымский	город Среднеколымск	7,538	125,2	94,93	59,17				
32	Усть-Майский	пгт Усть-Мая	7,349	95,3	95,70	62,37				
33	Усть-Янский	пгт Депутатский	7,242	120,3	96,45	66,40				
22	Нижнеколымский	пгт Черский	4,386	86,8	96,91	69,31				
10	Верхнеколымский	пгт Зырянка	4,288	67,8	97,36	71,58				
14	Жиганский национальный эвенкийский	село Жиганск	4,258	140,2	97,80	76,28				
19	Момский национальный	село Хонуу	4,139	101,7	98,23	79,69				
3	Абыйский	пгт Белая Гора	4,095	69,4	98,66	82,02				
25	Оленекский национальный эвенкийский	село Оленек	3,983	318,1	99,07	92,68				
7	Анабарский национальный (долгано-эвенкийский)	село Саскылах	3,431	55,6	99,43	94,54				
36	Эвено-Бытантайский национальный	село Батагай-Алыта	2,778	55,6	99,72	96,40				
5	Аллаиховский	пгт Чокурдах	2,682	107,3	100,00	100,00				

М. А. Журавская, А. А. Шевцов, О. Ю. Морозова | Оценка значимости объектов мультимодальной транспортной сети на территориях с суровыми климатическими условиями

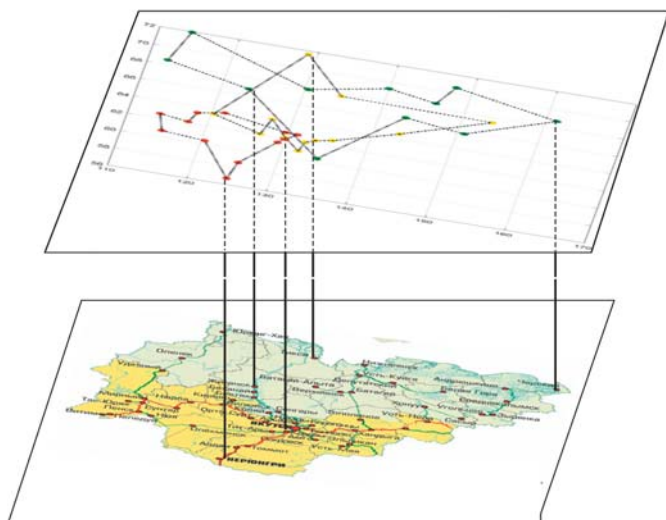


Рис. 3. Совмещение результатов моделирования и карты дорог Республики Саха

Так, например, поселок Жиганск, относящийся к группе *C*, но при этом находящийся на пересечении маршрутов групп *B* и *C*, обладает хорошим потенциалом для трансформации в мультимодальный транспортный центр.

Комбинаторная система оптимизации, рассмотренная в данной статье, является удобным средством для вычисления и решения подобных типов логистических задач. Данное исследование не является законченным, это только начало для дальнейшего анализа территории с суровыми климатическими условиями. Планируется провести ABC-анализ территории Республики Саха по такому качественному показателю, как объем полезных ископаемых, и соотнести будущие результаты с уже полученными. **ИТ**

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

Список литературы

1. Владимирова Т. А., Серьезнов А. Н., Соколов В. Г., Соколов С. А. Модернизация транспортной системы регионов Сибири и Крайнего Севера: создание аэрозстакадного транспорта // Сибирская финансовая школа. — 2015. — № 1 (108). — С. 3–6. — ISSN 1993–4386.
2. Тарасов П. И., Журавская М. А., Голубев О. В. Развитие мультимодальных транспортных коридоров на арктических и северных территориях РФ (на примере Республики Саха (Якутия)) // Горная Промышленность. — 2017. — № 2 (132). — С. 40–42.
3. Rozmarynowska M., Otdakowski B. New TEN-T proposal — a multimodal corridor concept. — 2012. — 31 p.
4. Theories & Practices of Multimodal Transport in Europe. — URL: <http://www.bus.tu.ac.th/usr/ruth/file/theory.pdf>.
5. URL: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Trans-European_networks_in_transport_\(TEN-T\)](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Trans-European_networks_in_transport_(TEN-T)) (дата обращения: 13.03.2017)
6. URL: https://ec.europa.eu/transport/themes/infrastructure/ten-t-guidelines/corridors_en (дата обращения: 13.03.2017).
7. Журнал «RailEngineer». Статья Gröna Tåget (The Green Train). 22 марта 2012 г. URL: <https://www.railengineer.uk>
8. 2012/03/22/grona-taget-the-green-train (дата обращения: 13.03.2017).
9. Транспортная стратегия России на период до 2030 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 г. № 1734-р.
10. Нефтегазовые месторождения: Якутия (Саха) республика. — URL: http://www.nftn.ru/oilfields/russian_oilfields/jakutija_sakha_respublika/21
11. Ефимова Л. В. Значение развития железнодорожного транспорта в рамках единой транспортной системы для экономики Республики Саха (Якутия) // Экономика железных дорог. — 2014. — № 8. — С. 59–72. — ISSN 1727–6500.
12. Михайлова В. В. Влияние комплексного развития железнодорожного транспорта на качество жизни населения Республики Саха (Якутия) // Вектор науки ТГУ. Серия: Экономика и управление. — 2012. — № 4 (11). — С. 122–125. — ISSN 2221–5689.
13. Журавская М. А., Коцан В. В., Парсюрора П. А. К вопросу формирования дружественной транспортной сети на основе анализа остановочных пунктов городских агломераций // Инновационный транспорт. — 2016. — № 2 (20). — С. 15–21. — ISSN 2311–164X.



**Саидбурхан
Тулаганович
Джаббаров**
Saidburkhan
T. Djabbarov



**Махамаджан
Мирахмедов**
Makhamadjan
Mirakhmedov



**Батиржан
Мардонов**
Batirjan
Mardonov

К вопросу выбора параметров проектирования объектов инфраструктуры высокоскоростных железных дорог

To the issue of choosing the design parameters rail infrastructure facilities for high-speed lines

(Статья публикуется в авторской редакции)

Аннотация

В статье приведены результаты теоретических исследований скорости и направленности воздушного потока, образуемого системой вагонов высокоскоростного поезда, и величины аэродинамического давления для обоснования параметров и требований к физико-механическим характеристикам элементов инфраструктуры высокоскоростных железных дорог.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, высокоскоростное движение поездов, аэродинамика высокоскоростных поездов, воздушный поток, аэродинамическое давление.

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.

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

DOI:10.20291/2311-164X-2017-2-35-38

Авторы Authors

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

Saidburkhan Tulaganovich Djabbarov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Tashkent Institute of Railway Transport Engineers, Tashkent, Uzbekistan | *Makhamadjan Mirakhmedov*, Dr. Sc., professor of Tashkent Institute of Railway Transport Engineers (TashIIT), Tashkent, Uzbekistan | *Batirjan Mardonov*, Dr. Sci. Sciences, Professor, Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Tashkent, Uzbekistan

At present, Uzbekistan is one of the countries with a national network of high-speed (high-speed) railways. In 2010, the Program for Organization of High-Speed Traffic of Passenger Trains on the Main Railways of Uzbekistan was adopted, which foresaw a gradual increase in passenger train speeds up to 160–200 km/h on existing lines and up to 200–250 km/h on newly constructed lines. Today, the total length of high-speed railways in the country has reached more than 700 km and in some parts of the train Afrosiyob (Talgo-250) develop a speed of 200–250 km/h.

The operational experience of the network of high-speed railways has shown that during the movement high-speed and high-speed trains, due to the involvement in the movement of air, create a stream whose excess pressure can have a negative impact on the elements of the railway infrastructure (booths, crossings, people, soil, station buildings) and traffic safety. Therefore, the study of air flows created by trains at speeds of over 200 km/h is an urgent task of ensuring safety on high-speed railways.

Over the past half-century, in many countries [1–6], the aerodynamics of a high-speed train has been experimentally and theoretically studied, the purpose of which is to obtain aerodynamic data on the nature of the air currents (velocity and direction vector) arising from the movement of high-speed trains; Assessment of their impact (pressure) on devices and facilities of the railway infrastructure; Study their impact on the safety level of high-speed trains.

It is known that a high degree of safety is envisaged during the design, is provided during construction and is realized during the operation of high-speed railways. Let's consider some theoretical issues of ensuring safety on high-speed railways, laid at the stage of their design.

Each object located in the zone of influence of air streams created by a high-speed train is subjected to aerodynamic pressure (P) with duration T and cyclist n_u . As you know, the aerodynamic pressure depends on the speed of the air flow (V_b); Duration of impact — on the speed (V_n) and length (L_n) of the train, the cyclist — on the number of wagons (n_b) high-speed train. The number of impacts is equal to the number of high-speed trains in this section. At a known value of airflow pressure, the pressure (F) on the object M can be defined as

$$F = PS. \tag{1}$$

where, S — is the area of the element, subject to aerodynamic pressure.

The aerodynamic pressure from the secondary airflow can be determined as

$$P = \frac{V_b^2 \rho}{2}. \tag{2}$$

Thus, the determination of the value of aerodynamic pressure on an object is reduced to determining the velocity of the air flow near the object under consideration with the coordinates $M(x, y, z)$. The velocity of the air flow near the object M can be determined both instrumentally and theoretically. Let's consider the theoretical method of determining the speed of air flow created by a high-speed train.

A study of the distribution of airflow and determination of its speed along a moving high-speed train was carried out on a model of a train consisting of a locomotive and $2n$ wagons. Locomotive and wagons are presented as an axisymmetric body, with a streamlined shape of the head and tail moving in a compressible (acoustic) medium [9].

To simplify the calculations, we assume that the locomotive and all cars in the cross section have identical cylindrical shapes, consist of a circular cylinder with identical circular cones of the head and tail parts (Fig. 1).

The ax symmetric wave equation of the aerodynamic field near a high-speed train consisting of a locomotive and $2n$ wagons is solved both for a train consisting of one single wagon [9]. The function $f(z)$ for each wagon can be represented in the view $f_{ij}(z)$, where the index i indicates the serial number of the wagon from the center of the train ($i = 0$ corresponds to the number of the middle wagon), the index j on the geometric shape of the part of the wagons. If we assume that the wagon consists of three geometric shapes, then $j = 1, 2, 3$ ($j = 1$ corresponds to the cylindrical part, $j = 2$ the tail part, $j = 3$ the head part).

The propagation of an acoustic wave in the air medium can be represented by the equation (7) with the boundary conditions (8) and (10) [9]. The condition that the component along the velocity axis Oy of the medium on the boundary of the half-space be zero, in contrast to equation (9) [9], takes the following view

$$\frac{\partial \phi_1}{\partial y} = 0 \text{ at } y = -h - R - f(z). \tag{3}$$

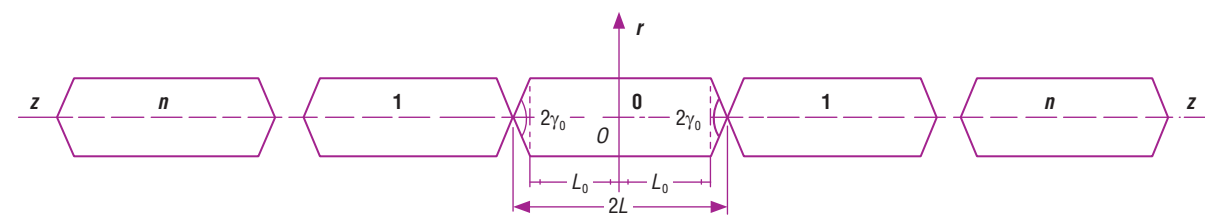


Fig.1. The scheme for the movement of a high-speed train with a locomotive and wagons

To find the solution of the equation, the source method was used [7]. Considering the function $\phi(r, z)$ satisfying (7), the boundary conditions (8), (10) [9] and (3), the solution can be represented in the form

$$\phi_1 = -\frac{1}{4\pi} \frac{\int_{-(2n+1)L}^{(2n+1)L} \frac{q(\xi)d\xi}{\sqrt{(\xi-z)^2 + \alpha^2 r^2}}, \quad (4)$$

where, $q(z)$ — is the power of a source distributed over the surface of a moving body within $0 < r < f_{ij}(z)$, $-(2n+1)L < z < (2n+1)L$.

For an ax symmetric body from formula (4) to [8], it can be asserted that

$$\frac{\partial \phi_1}{\partial r} \rightarrow \frac{q(z)}{2\pi r} \text{ at } r \rightarrow 0. \quad (5)$$

Since we consider that the problem is symmetrical about the axis Oz , the high-speed train consists of a locomotive and $2n$ wagons, then the equation of the surface of the body $r = f_{ij}(z)$, as well as the power of the source $q(z)$ from each wagon and its components can be recorded separately. For example, for a wagon $i = 1$ and its part $j = 2$ as: $2L + L_0 < z < 3L$; $f_{12} = \gamma_0(3L - z)$; $q = -2\pi V_0 \gamma_0^2 f_{12}$.

Taking into account the symmetry of the problem with respect to the variable z , and also the power of the source $q(z)$ from each wagon and its components, equation (4) can be represented in the following form

$$\begin{aligned} \phi_1 = & -\frac{V_0 \gamma_0^2}{2} \left\{ \sum_{i=0}^n \left[\int_{2iL+L_0}^{(2i+1)L} \frac{(2i+1)L - \xi}{\sqrt{(z+\xi)^2 + \alpha^2 r^2}} d\xi - \right. \right. \\ & \left. \left. - \int_{2iL+L_0}^{(2i+1)L} \frac{(2i+1)L - \xi}{\sqrt{(z-\xi)^2 + \alpha^2 r^2}} d\xi \right] \right\} + \\ & + \frac{V_0 \gamma_0^2}{2} \left\{ \sum_{i=1}^n \left[\int_{(2i-1)L}^{2iL-L_0} \frac{\xi - (2i-1)L}{\sqrt{(z+\xi)^2 + \alpha^2 r^2}} d\xi - \right. \right. \\ & \left. \left. - \int_{(2i-1)L}^{2iL-L_0} \frac{\xi - (2i-1)L}{\sqrt{(z-\xi)^2 + \alpha^2 r^2}} d\xi \right] \right\}. \quad (6) \end{aligned}$$

We introduce a new variable $r_{ij} = r_{ij}(x, y, z)$ expressed by the formula

$$r_{ij} = \sqrt{x^2 + [2f_{ij}(z) + 2h + 2R + y]^2} \quad (7)$$

and consider the total potential presented in the view

$$\phi_n = \phi_1(r, z) + \phi_1[r_{ij}(x, y, z), z].$$

The function $\phi_n(x, y, z)$ satisfies the boundary condition (3), and the function $\phi_1 = \phi_1[r_{ij}(x, y, z), z]$ satisfies Eq. (5) only under $\gamma_0 = 0$. Assuming γ_0 to be a small parameter and setting $f_{ij} = \gamma_0 f_{0ij}$, the function $1/r_{ij} = 1/\sqrt{x^2 + [2\gamma_0 f_{0ij}(z) + 2h + 2R + y]^2}$ can be expanded in powers of this parameter as

$$\begin{aligned} \frac{1}{r_{ij}} &= \frac{1}{\sqrt{x^2 + [2\gamma_0 f_{0ij}(z) + 2h + y]^2}} = \\ &= \frac{1}{r_1} + \gamma_0 \frac{2(2h+y)f_{0ij}(z)}{r_1^3} + \dots \end{aligned}$$

$$\text{Where, } r_1 = \sqrt{x^2 + (2h + 2R + y)^2}$$

If we substitute expression (9) into (6), then formula (8) takes the form

$$\phi_n = \gamma_0^2 [\phi_{01}(r, z) + \phi_{01}(r_1, z) + \gamma_0 \phi_{02} + \dots] \quad (10)$$

Where,

$$\begin{aligned} \phi_{01} = & -\frac{V_0}{2} \left\{ \sum_{i=0}^n \left[\int_{2iL+L_0}^{(2i+1)L} \frac{(2i+1)L - \xi}{\sqrt{(z+\xi)^2 + \alpha^2 r^2}} d\xi - \right. \right. \\ & \left. \left. - \int_{2iL+L_0}^{(2i+1)L} \frac{(2i+1)L - \xi}{\sqrt{(z-\xi)^2 + \alpha^2 r^2}} d\xi \right] \right\} + \\ & + \frac{V_0}{2} \left\{ \sum_{i=1}^n \left[\int_{(2i-1)L}^{2iL-L_0} \frac{\xi - (2i-1)L}{\sqrt{(z+\xi)^2 + \alpha^2 r^2}} d\xi - \right. \right. \\ & \left. \left. - \int_{(2i-1)L}^{2iL-L_0} \frac{\xi - (2i-1)L}{\sqrt{(z-\xi)^2 + \alpha^2 r^2}} d\xi \right] \right\}. \quad (11) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_{02} = & V_0 \left\{ \sum_{i=0}^n \left[\int_{2iL+L_0}^{(2i+1)L} \frac{[(2i+1)L - \xi](2h+y)f_{0ij}(z)}{\sqrt{[(z+\xi)^2 + \alpha^2 r_1^2]^3}} d\xi - \right. \right. \\ & \left. \left. - \int_{2iL+L_0}^{(2i+1)L} \frac{[(2i+1)L - \xi][2h+y]f_{0ij}(z)}{\sqrt{[(z-\xi)^2 + \alpha^2 r_1^2]^3}} d\xi \right] \right\} + \\ & + V_0 \left\{ \sum_{i=1}^n \left[\int_{(2i-1)L}^{2iL-L_0} \frac{[\xi - (2i-1)L][2h+y]f_{0ij}(z)}{\sqrt{[(z+\xi)^2 + \alpha^2 r_1^2]^3}} d\xi - \right. \right. \\ & \left. \left. - \int_{(2i-1)L}^{2iL-L_0} \frac{[\xi - (2i-1)L][2h+y]f_{0ij}(z)}{\sqrt{[(z-\xi)^2 + \alpha^2 r_1^2]^3}} d\xi \right] \right\}. \quad (12) \end{aligned}$$

In the sum of the potentials (10), as the first approximation the is adopted function ϕ_{01} , which satisfies equation (7) [9] and boundary condition (3).

The components of the velocity vector of air particles can be determined by the following formulas

$$\frac{\partial \phi_n}{\partial x} = \frac{\partial \phi_{01}(r, z)}{\partial r} \frac{\partial r}{\partial x} + \frac{\partial \phi_{01}(r_1, z)}{\partial r_1} \frac{\partial r_1}{\partial x}, \quad (13)$$

$$\frac{\partial \phi_n}{\partial y} = \frac{\partial \phi_1(r, z)}{\partial r} \frac{\partial r}{\partial y} + \frac{\partial \phi_1(r_1, z)}{\partial r_1} \frac{\partial r_1}{\partial y}, \quad (14)$$

$$\frac{\partial \phi_n}{\partial z} = \frac{\partial \phi_1(r, z)}{\partial z} + \frac{\partial \phi_1(r_1, z)}{\partial z}. \quad (15)$$

The absolute speed of the air flow generated by the system of high-speed train wagons when it moves at a steady speed at an arbitrary point $M(x, y, z)$ can be defined as

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}. \quad (16)$$

The air flow pressure can be determined from the formula

$$\Delta p = -\rho_0 \frac{\partial \phi}{\partial t} = \rho_0 V_0 \frac{\partial \phi}{\partial z}. \quad (17)$$

With the use of computer technology, built a graph of the change in the aerodynamic pressure of the air flow at the edge of the platform is constructed when passing a train with four cars and a locomotive (Fig. 2). In calculations it is accepted $L = 25$ m, $L_0 = 20$ m, $R = 2$ m, $v_0 = 200$ km/h, $\rho_0 = 1.2$ kg/m³.

Similar graphs can be constructed for different speed levels of high-speed trains. Using these graphs, it is possible to construct a curve of the dependence of pressure on

the speed of trains and the distance to the point $p = f(v_g, y)$ under consideration.

Thus, the results of the research and the obtained curves of the $p = f(v_g, y)$ dependence can be used in the practice of designing high-speed train traffic on both existing and for new constructed railways.

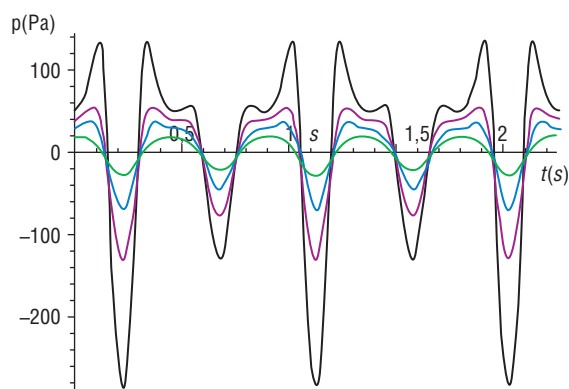


Fig. 2. Change of pressure from time at different distances from the edge of the platform for a train consisting of four cars and a locomotive, taking into account the presence of gaps between the cars and the locomotive at the time of complete passage of the composition 1 — black — $x = 2$ m, 2 — red — $x = 4$ m, 3 — blue — $x = 6$ m, 4 — green — $x = 8$ m

On existing railways, to substantiate the maximum speed of a high-speed train along each railway infrastructure object, with known parameters physical, mechanical characteristics of its elements.

When constructing new high-speed railways: for Substantiate the parameters and requirements for the physical and mechanical characteristics of the railroad infrastructure elements calculated for certain maximum high-speed train speeds set by traction calculations. **ИТ**

Список литературы / References

- Holmes S., Schroeder M. Aerodynamic Effects of High-Speed Passenger Trains on Other Trains. Final Report, September 2000–March 2001. DOT-VNTSC-FRA-01–05. U. S. Department of Transportation Research and Special Programs Administration John A. Volpe National Transportation Systems Center.
- Derkowski P., Clark S., Sturt R. Aerodynamic effects of high speed trains on passenger, track workers, and other people. Arema, 2014.
- 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.
- Khayrullina A., Blocken B., Wendy Janssen, Jochem Straathof. CFD simulation of train aerodynamics: train-induced wind conditions at an underground railroad passenger platform. Accepted for publication in Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics, January 2015.
- Baker C. The Flow Around High Speed Trains // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 2010. Volume 98. P. 277–299.
- 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.
- Ламб Г. Гидродинамика. М.: ОГИЗ, 1947. 929 с.
- Сагомоян А. Я. Проникание. М.: МГУ, 1974. 299 с.
- Djabbarov S., Mirakhmedov M., Mardonov B. On the question of the safety of the passenger on a high railway platform when high-speed train is passing by // Innotrans Scientific-and-non-fiction edition 2016. P. 39–44.
- Джаббаров С. Т., Мирахмедов М., Мардонов Б. М. К вопросу безопасности пассажира на высокой железнодорожной платформе при прохождении высокоскоростного поезда // Инновационный транспорт. 2016. № 3 (21). С. 39–44.



Павел Константинович Шкодун

Pavel K. Shkodun



Анна Владимировна Долгова

Anna V. Dolgova

Особенности реализации алгоритма нечеткого вывода при оценке качества ремонта коллекторно-щеточного узла тяговых электродвигателей подвижного состава

Special aspects of the implementation of the fuzzy inference algorithm in assessing the quality of repair of the collector-brush unit of traction electric motors of rolling stock

Аннотация

Целью настоящей статьи является создание математических моделей для комплексной оценки качества выполненного ремонта коллекторно-щеточного узла тягового электродвигателя подвижного состава. В результате выполненного исследования сформированы математические модели качества ремонта в пространстве выбранных признаков с использованием аппарата нечеткой логики, позволяющие рассчитывать значение предложенных комплексных показателей для произвольных значений диагностических параметров.

Ключевые слова: подвижной состав, тяговый электродвигатель, коллекторно-щеточный узел, диагностические параметры, функция принадлежности, база правил деятельности алгоритма нечеткого вывода, метод дефаззификации.

Abstract

The purpose of this article is to create mathematical models for a comprehensive assessment of the quality of the repair performed in the collector-brush assembly of a traction motor of rolling stock. As a result of the performed research, mathematical models of the quality of repair in the space of selected features using a fuzzy inference device are generated, allowing to calculate the value of the proposed complex indicators for arbitrary values of diagnostic parameters.

Keywords: rolling stock, traction electric motor, collector-brush unit, diagnostic parameters, membership function, base of operation rules of fuzzy inference algorithm, defuzzification method.

DOI:10.20291/2311-164X-2017-2-39-42

Авторы Authors

Павел Константинович Шкодун, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрические машины и общая электротехника» Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС) | Анна Владимировна Долгова, канд. техн. наук, доцент кафедры «Информатика, прикладная математика и механика» Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС)

Pavel Konstantinovich Shkodun, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department «Electrical machines and general electrical engineering», Omsk State Transport University (OSTU) | Anna Vladimirovna Dolgova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department «Computer science, applied mathematics and mechanics», Omsk State Transport University (OSTU)

Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

Тяговый подвижной состав железных дорог в процессе эксплуатации подвергается интенсивным нагрузкам и износу. На сегодняшний день среди приоритетных направлений развития железнодорожного транспорта можно выделить снижение издержек при ремонте, обеспечение ресурсосбережения и поддержание технического состояния парка локомотивов, находящегося в эксплуатации [1]. Качественное и своевременное техническое обслуживание и ремонт тягового подвижного состава обеспечивают бесперебойность и рентабельность работы железнодорожного транспорта. В связи с постоянным ужесточением требований к надежности и безопасности подвижного состава возникает необходимость повышения качества технического диагностирования его узлов и деталей. В [2] поставлена задача создания комплексной методики технического диагностирования, позволяющей получать достоверные сведения о качестве ремонта, отражающем техническое состояние коллекторно-щеточного узла тягового электродвигателя (КЩУ ТЭД). Целью настоящего исследования является подбор рационального метода дефазсификации для реализации алгоритма деятельности нечеткого вывода.

Основу предлагаемой методики составляет диагностическая модель системы «коллектор — щетка», созданная с применением методов нечеткой логики и позволяющая повысить достоверность диагностирования и распознавания состояний работоспособности КЩУ ТЭД.

В качестве базовой модели выбрана диагностическая граф-модель КЩУ ТЭД в процессе приемо-сдаточных испытаний [2]. На основании результатов выполненных статистических исследований [2], декомпозиции рабочей граф-модели и расчета диагностической ценности искомых признаков определен набор диагностических признаков, которые приняты в качестве входных переменных при реализации деятельности процесса нечеткого вывода: биение рабочей поверхности коллектора (δ); среднее квадратическое отклонение относительных высот коллекторных ламелей (σ_n); амплитуда первой гармонической составляющей профиля коллектора (A_1); амплитуда второй гармонической составляющей профиля коллектора (A_2); среднее квадратическое отклонение относительных высот коллекторных ламелей без учета первой и второй гармонических составляющих ($\sigma_{h|v=3...n}$); минимальное значение второй производной функции профиля коллектора ($\ddot{\eta}_{\min}$); среднее квадратическое отклонение второй производной функции профиля коллектора ($\sigma_{\ddot{\eta}}$); действующее значение высших гармонических составляющих функции профиля коллектора ($\eta_{\text{действ}}$).

Согласно [3], основными этапами процедуры нечеткого вывода являются следующие: формирование базы правил, фазсификация входных переменных, агрегиро-

вание подусловия, активизация подзаключений и аккумулярование заключений.

Для реализации алгоритма деятельности нечеткого вывода [4] предложены результирующие переменные: комплексный показатель качества ремонта (КПКР); комплексный показатель качества коммутации (КПКК) и комплексный показатель качества механической обработки (КПКМО).

Для каждой выделенной лингвистической переменной сформулированы терм-множества и определены функции принадлежности, а также сформулированы правила нечеткой продукции для рассматриваемой системы в рамках реализации алгоритма нечеткого вывода Мамдани [2]. В результате исследований, выполненных в [2], сформированы математические модели качества ремонта в пространстве выбранных признаков с использованием аппарата нечеткой логики, позволяющие рассчитывать значение предложенных комплексных показателей для произвольных значений диагностических параметров.

Аккумулярование заключений рассматриваемых моделей выполнено методом max-объединения нечетких множеств [5], по выражению:

$$\mu_D(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}, (\forall x \in X), \quad (1)$$

где $\mu_A(x)$, $\mu_B(x)$ — функции принадлежности исходных нечетких множеств A и B ; $\mu_D(x)$ — функция принадлежности результирующего нечеткого множества D , заданного на универсуме X .

Для выполнения численных расчетов на этапе дефазсификации необходимо выбрать метод дефазсификации, для этого проведены статистические исследования. На базе локомотивного депо зарегистрированы профилограммы 75 ТЭД, для каждого из которых были рассчитаны выбранные диагностические параметры (δ , σ_n , A_1 , A_2 , $\sigma_{h|v=3...n}$, $\ddot{\eta}_{\min}$, $\sigma_{\ddot{\eta}}$, $\eta_{\text{действ}}$) [1]. Из полученных данных сформированы выборки для следующих групп ТЭД: в плохом (I), среднем (II), хорошем (III) и отличном (IV) техническом состоянии. Результаты дефазсификации параметра КПКР, выполненные с использованием пакета Fuzzy Logic Toolbox программы MatLAB, для одного ТЭД из группы III приведены на рис. 1–4.

Результаты дефазсификации, полученные с использованием методов центра тяжести, центра площади, левого модального значения, правого модального значения для каждой группы ТЭД приведены в табл. 1. Из полученных данных следует, что наиболее целесообразным методом дефазсификации для рассматриваемых моделей является метод центра площади, поскольку данный метод позволяет обеспечивать требуемый диапазон результирующих значений при различных исходных данных.

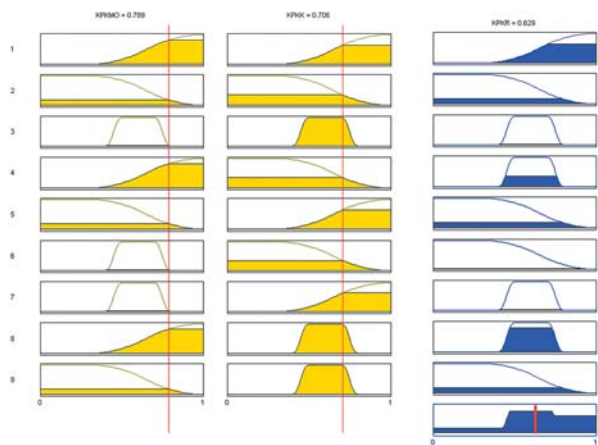


Рис. 1. Результаты дефаззификации КПКР методом центра тяжести

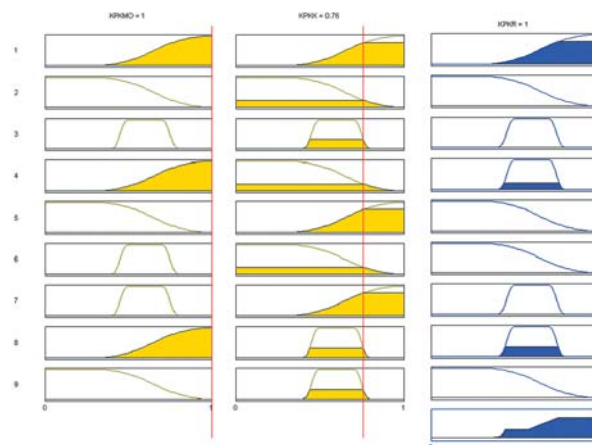


Рис. 2. Результаты дефаззификации КПКР методом правого модального значения

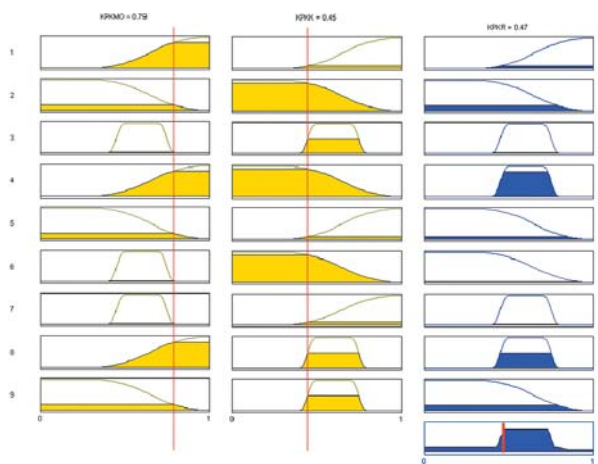


Рис. 3. Результаты дефаззификации КПКР методом левого модального значения

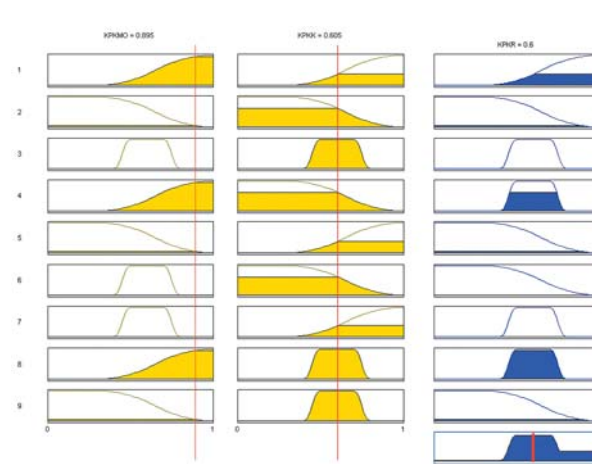


Рис. 4. Результаты дефаззификации КПКР методом центра площади

Таблица 1

Результаты дефаззификации

Метод дефаззификации	Показатель	Группа			
		I	II	III	IV
Метод центра тяжести	КПКМО	0,5	0,691	0,789	0,799
	КПКК	0,715	0,6	0,706	0,799
	КПКР	0,412	0,476	0,629	0,687
Метод левого модального значения	КПКМО	0,5	0,42	0,79	1
	КПКК	0,46	0,45	0,45	0,98
	КПКР	0	0	0,47	0,98
Метод правого модального значения	КПКМО	0,5	1	1	1
	КПКК	0,74	0,76	0,76	1
	КПКР	0,73	1	1	1
Метод центра площади	КПКМО	0,5	0,71	0,895	1
	КПКК	0,6	0,605	0,605	0,99
	КПКР	0,6	0,6	0,6	0,995

Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

Для анализа результатов деятельности процесса нечеткого вывода построены поверхности каждой из результирующих лингвистических переменных, при этом учитывается, что реакция системы нечеткого вывода представляется в виде гиперповерхностей КПКМО, КПКК, КПКР. Таким образом, пространство для построения поверхностей КПКМО и КПКК является многомерным, в связи с этим отобразить его

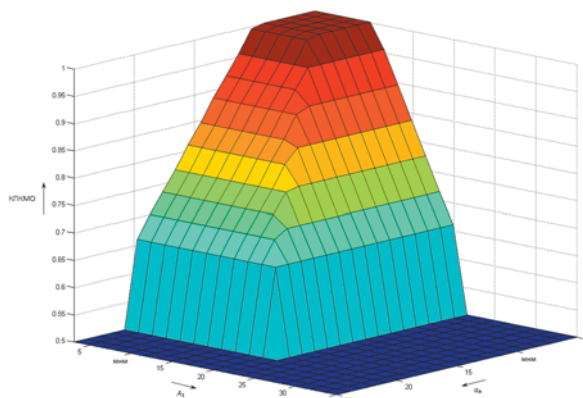


Рис. 5. Представление многомерной поверхности КПКМО в пространстве признаков σ_h и A_1

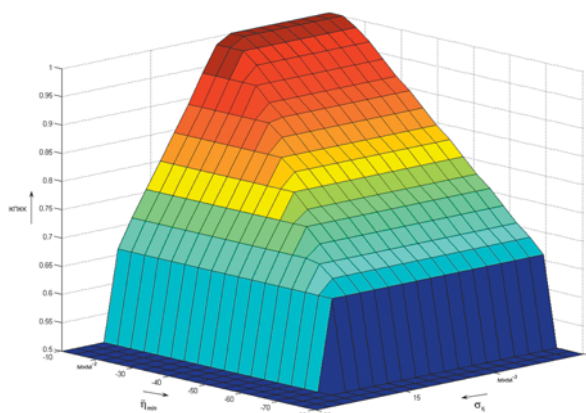


Рис. 6. Представление многомерной поверхности КПКК в пространстве признаков i_{\min} и σ_{ij}

полностью невозможно. Представим элементы гиперповерхности КПКМО (рис. 5), КПКК (рис. 6) и КПКР (рис. 7) при использовании дефазсификации методом центра площади.

Выводы

График на рис. 7 показывает, что результирующее значение КПКР стремится к единице в том случае, если параметры, по которым выполняется оценка, также стремятся к установленным значениям. При выходе оцениваемых параметров за пределы норм, которые положены в основу модели, результирующее значение КПКР стремится к нулю, что свидетельствует об адекватности полученных результатов.

Таким образом, на основании проведенных исследований установлено, что наиболее рациональным методом дефазсификации для рассматриваемых моделей является метод центра площади. С применением выбранного метода были построены гиперповерхности выходных лингвистических переменных, которые позволяют подтвердить адекватность сформированных математических моделей. **ИТ**

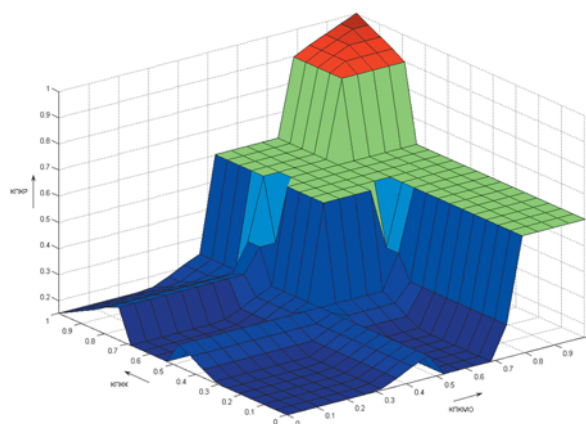


Рис. 7. Представление многомерной поверхности КПКР в пространстве признаков КПКК и КПКМО

Список литературы

1. Харламов В. В. Совершенствование технологии диагностирования технического состояния коллекторно-щеточного узла тяговых электродвигателей электровозов : монография / В. В. Харламов, П. К. Шкодун, А. В. Долгова, Д. А. Ахунов. — Омск : Омский гос. ун-т путей сообщения, 2015. — 198 с. — ISBN 978-5-949-41120-9.
2. Шкодун П. К. Применение аппарата нечеткой логики при диагностировании коллекторно-щеточного узла тяговых электрических двигателей подвижного состава [Текст] / П. К. Шкодун, А. В. Долгова // Известия Транссиба. — Омск, 2016. — № 4 (28). — С. 59–69.
3. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH [Текст] / А. В. Леоненков. — СПб. : БХВ-Петербург, 2005. — 736 с.
4. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений [Текст] / Л. А. Заде. — М. : Мир, 1976. — 165 с.
5. Борисов А. Н. Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования [Текст] / А. Н. Борисов, О. А. Крумберг, И. П. Федоров. — Рига : Зинатне, 1990. — 184 с.



**Александр Петрович
Буйносов**
Alexandr P. Buynosov



**Сергей Игоревич
Лаптев**
Sergey I. Laptev

Новые варианты устройства стыковки железнодорожных рельсов

New variants of the railroad rails joining device

Аннотация

В статье изучается устройство стыковки железнодорожных рельсов с использованием композитных материалов и стыковки рельсов под углом 45° , недостатки существующего метода и возможность использования новых вариантов стыковки на линиях метрополитена и российских железных дорогах необщего пользования.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, рельс, путь, рельсовый стык, устройство, долговечность, безопасность движения.

Abstract

The article studies the device for joining railroad rails using composite materials and joining rails at an angle of 45° , the shortcomings of the existing method and the possibility of using new joining options on existing metro lines and Russian non-public railways.

Keywords: railway transport, rail, track, rail joint, device, durability, traffic safety.

DOI:10.20291/2311-164X-2017-2-43-45

Авторы Authors

Александр Петрович Буйносов, д-р техн. наук, профессор кафедры «Электрическая тяга» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: buynosov@mail.ru | Сергей Игоревич Лаптев, аспирант Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: serj2212@mail.ru

Alexander Petrovich Buynosov, Dr. of Tech. Sciences., Professor of the Department "Electric traction" of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: buynosov@mail.ru | Sergey Igorevich Laptev, graduate student of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: serj2212@mail.ru

Рельсовый стык — место соединения двух рельсов. Стыки обязательно включают в себя зазоры для свободного удлинения рельсов при изменении атмосферных температур [1, 2]. Рельс удерживают от сдвигов металлические пластины-накладки, прижимаемые к рельсам 4–6 болтами с обеих сторон. В классических рельсовых стыках отверстия для крепежных болтов в накладках имеют продолговатые формы через одно отверстие, т.е. из 6 отверстий 3 имеют продолговатые формы.

Отсутствие зазоров (слепые зазоры) говорит о возможном возникновении температурных напряжений сжатия в рельсах, что может приводить к температурным выбросам пути [3]. Зазоры более 20 мм свидетельствуют о возникновении срезающих усилий в стыковых болтах. При величине зазоров более 20 мм уменьшаются скорости движения рельсового транспорта по участкам пути с таким зазорами.

На первых российских железных дорогах рельсовые стыки устраивались на шпалах; концы примыкающих друг к другу рельсов объединяли объемлющей чугушной подушкой, которую врезали в шпалу [4]. С начала 70-х гг. XIX в. стали применять стальные рельсы с новым типом стыка, располагаемым на весу между шпалами. При этом сначала использовали простые плоские накладки, а затем фасонные. Известно, что конструкция рельсового стыка должна отвечать трем основным требованиям: воспринимать изгибающий момент и поперечную силу в зоне рельсового стыка; допускать продольные перемещения концов рельсов в стыке при изменении длины рельсов вследствие колебаний их температуры; обеспечивать возможность изготовления деталей стыка одним из способов массового производства. Эти требования оказались столь сложными и противоречивыми, что за всю более чем 150-летнюю историю железнодорожного транспорта не удалось создать конструкцию стыка, которая отвечала бы всем им.

Ударное взаимодействие колеса и рельса в зоне стыка, повышенный износ элементов стыка, смятие концов рельсов и вызываемые всем этим повышенные расходы на текущее содержание пути; необходимость иметь многодетальную (накладки, болты, шайбы и т.д.), периодически повторяющуюся (и чем меньше длина рельса, тем чаще) конструкцию стыка — все это привело к стремлению не только сократить число стыков за счет увеличения длины рельсов, но и совсем их ликвидировать [5, 9]. Пока в полной мере реализовать это желание не удалось. На большинстве отечественных железных дорог общего пользования длина сварных рельсовых плетей составляет всего 550–800 м; между рельсовыми плетями уложены 2–4 уравнильных рельса. Длина вновь укладываемых сварных плетей устанавливается в зависимости от местных условий и должна быть, как правило, равной длине блок-участка. Установленная минимальная длина плети — 400 м. На полигоне бесстыкового пути общего пользования в настоящее время имеется более 60 тыс.

уравнильных пролетов, что снижает эффективность функционирования бесстыкового пути.

В большинстве метрополитенов России, согласно ГОСТ Р 51685–2013, предельная длина рельсовой плети составляет 325 м, на железнодорожном транспорте не общего пользования, согласно ГОСТ Р 51045–2014, длина составляет 12,5, 25 и 50 м. Поскольку эксплуатация и ремонт инфраструктуры метрополитенов России финансируются из региональных бюджетов, а железнодорожные цеха промышленных предприятий по остаточному принципу, любые затратные проекты, такие как использование 400- и 800-метровых рельсов и другие, неосуществимы, тем более наличие кривых малого радиуса (130 и менее метров) не позволяет и мечтать об этом.



Рис. 1. Боковой износ головки рельса в кривом участке пути $R = 128$ м (Северский трубный завод)

Необходимо искать способы повышения жизненного цикла рельсов, а также восстановления инфраструктуры (рельсовых плетей), исходя из минимальных капитальных вложений с высокой отдачей. К таким способам можно отнести новые варианты конструкции железнодорожного пути, адаптированные к сложным климатическим условиям [6]. И особенное внимание необходимо уделить рельсовым стыкам, которые более всего подвержены действию расширения и сжатия и от которых зависит скорость поездов и срок эксплуатации самих рельсов.

Первый способ — новый вариант рельсового стыка с использованием композитных материалов.

Композитные материалы представляют собой сложные структуры, образованные комбинацией элементов-наполнителей и пластичного связующего (матрицы). Сочетание разнородных веществ позволяет создавать новые материалы, свойства которых количественно и качественно отличаются от свойств его составляющих. Матрица обеспечивает монолитность композитных материалов, фиксирует форму изделия и взаимное расположение волокон [7]. В качестве матрицы используются отвержденные смолы, металлы, а также полимерные материалы. Армирующие элементы в виде тонких стеклянных, углеродных, органических и борных волокон, нитей, сеток или тканей обеспечивают физико-механические характеристики материала, в частности высокую прочность и жесткость. Компания «АпоТэк»

создала подходящий композитный материал и провела с ним много испытаний. Разработан стержень из композитного материала с высокой прочностью и жесткостью, с расширением при температуре более 100 °С. Длина стержня 200 мм при диаметре 15 мм, диаметр нижнего стержня 30 мм.

В рельсе со стороны стыка высверливаются три отверстия глубиной 110 мм диаметром 17 мм, нижнее отверстие — диаметром 32 мм. Три стержня вставляются в соответствующие полости внутри рельса со стороны стыка.

Данный стык позволит рельсу быть более мобильным при колебаниях температуры и при постоянных нагрузках. Этот вариант стыка увеличит скорость поездов и уменьшит их шумовое влияние. Так как нижний стержень будет достаточно массивен, то рельс будет иметь дополнительную устойчивость и прочность, в то же время эта часть стыка также будет реагировать на расширение. В отличие от бесстыкового пути, который при колебаниях температуры получает искривления, данный стык может менять зазор как при изолирующем стыке в допустимых пределах: 2,5 мм удлинение — 6 мм сужение.

Крепление в данной конструкции не предусмотрено, поэтому нет необходимости периодически подкручивать болты и гайки, что приведет к экономии материала и оплаты труда.

Второй способ — рельсы со скошенными под углом 45° стыками.

Недостатком существующего устройства стыкового пути является динамический удар колеса по верхней кромке головки рельса, что разрушает поверхность рельса.

Чтобы снизить шум от железнодорожного транспорта на линиях метрополитена, уменьшить износ колес и рельсов и увеличить скорость движения поездов на предприятиях железнодорожного транспорта необщего пользования, рекомендуются к использованию рельсы со скошенными под углом 45° стыками (косой рельсовый стык).

Косой рельсовый стык представляет собой устройство стыковки железнодорожных рельсов между собой посредством накладки таким образом, что образуемый температурный стык выполнен под углом 45° относительно горизонтальной оси симметрии. Косой рельсовый стык позволяет продлить сроки эксплуатации же-

лезнодорожных рельсов путем устранения ударов колес вагонов об рельс в местах стыковки рельсов на температурных зазорах между рельсами.

Результат достигается тем, что торцевые стыкуемые части выполнены прямыми и жестко зафиксированы накладками, при этом соединены электросваркой на глубину головки рельса. Через центр стыка выполнен разрез головки рельса под углом 45° от линии, перпендикулярной оси рельса, на ту же глубину. Общий вид устройства представлен на рис. 2.

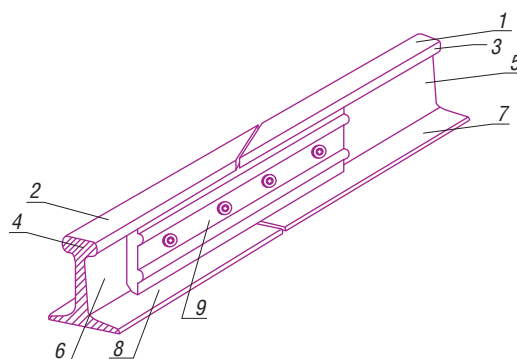


Рис. 2. Косой рельсовый стык для соединения двух рельсов: 1 и 2 — рельсы; 3 и 4 — головки рельсов; 5 и 6 — шейки; 7 и 8 — подошвы рельсов; 9 — накладки.

Устройство стыковки железнодорожных рельсов выполняется следующим образом. Сначала прямой стык заваривают электросваркой на глубину головки 3 и 4 рельса 1 и 2. Затем зачищают рабочую поверхность, контролируя прямолинейность всех плоскостей в зоне сварки головки 3 и 4 рельса 1 и 2. Далее определяют центр стыка на продольной оси рельса 1 и 2, через который осуществляют разрезку головки 3 и 4 рельса 1 и 2, контролируя температурный зазор. Затем производится зачистка зоны готового стыка и крепление рельсов с помощью накладок 9.

Использование предлагаемого устройства стыковки железнодорожных рельсов обеспечит плавный, бесшумный, равномерный по нагрузке проезд колеса через косые стыки и повысит долговечность рельсового пути [8]. **ИТ**

Список литературы

- Горский А. В., Буйносов А. П., Боярских Г. С., Лавров В. А. Бандажи и рельсы (опыт Свердловской дороги) // Локомотив. — 1992. — № 4. — С. 25–26. — ISSN 0869–8147.
- Буйносов А. П. Износ бандажей и рельсов: причины и возможности сокращения // Железнодорожный транспорт. — 1994. — № 10. — С. 39–41. — ISSN 0044–4448.
- Буйносов А. П., Дибров С. А. Важный фактор уменьшения износа колес и рельсов // Железнодорожный транспорт. — 1995. — № 6. — С. 39–41. — ISSN 0044–4448.
- Буйносов А. П. Взаимодействие колеса и рельса // Путь и путевое хозяйство. — 1999. — № 5. — С. 22–25. — ISSN 0131–5765.
- Буйносов А. П. Еще раз об износе колеса и рельса // Путь и путевое хозяйство. — 2010. — № 9. — С. 23–26. — ISSN 0131–5765.
- Буйносов А. П., Михайлова Н. А., Михайлова О. М. Прибор для контроля рельсов // Путь и путевое хозяйство. — 2010. — № 10. — С. 13–15. — ISSN 0131–5765.
- Буйносов А. П., Фетисова Н. Г. Влияние материала на износ бандажей колесных пар электровозов и рельсов // Научно-технический вестник Поволжья. — 2013. — № 3. — С. 111–113. — ISSN 2079–5920.
- Буйносов А. П., Денисов Д. С. Прибор для неразрушающего метода контроля железнодорожных рельсов // Научно-технический вестник Поволжья. — 2016. — № 3. — С. 56–58. — ISSN 2079–5920.
- Крейнис З. Л. Бесстыковой путь. [Электронный ресурс] / З. Л. Крейнис, Н. Е. Селезнева. — Электрон. дан. — М. : УМЦ ЖДТ, 2012. — 472 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/6069> — Загл. с экрана.



Александр Петрович
Буйносов

Alexandr P. Buinosov



Илья Валерьевич
Умылин

Ilya V. Umylin

Мобильный станок для обточки бандажей колесной пары моторного вагона электропоезда

Mobile machine for turning the tires of the mounted wheels of a motor wagon of an electric train

Аннотация

В статье рассматриваются основные причины неисправности колесных пар моторвагонного подвижного состава, приводятся характеристики и процесс обточки бандажа (колеса) разработанным мобильным токарным станком для обточки колесных пар без выкатки из-под вагона электропоезда.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, электропоезд, моторный вагон, колесная пара, бандаж, обточка, станок мобильный, разработка.

Abstract

In the article the main reasons for the breakdown of mounted wheels of a motorized rolling stock are considered, the characteristics and the process of turning of the binding band (wheel) are described by the developed mobile lathe for turning the wheel pairs without rolling out from under the car of the electric train.

Keywords: railway transport, electric train, motor car, mounted wheel, binding band, turning off, mobile machine, elaboration.

DOI:10.20291/2311-164X-2017-2-46-50

Авторы Authors

Александр Петрович Буйносов, д-р техн. наук, профессор кафедры «Электрическая тяга» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: byinosov@mail.ru | Илья Валерьевич Умылин, аспирант Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: uvil333@mail.ru

Alexander Petrovich Buinosov, Dr. of Tech. Sciences, Professor of the Department "Electric traction" of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: byinosov@mail.ru | Ilya Valer'evich Umylin, postgraduate student of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: uvil333@mail.ru

В наше время трудно переоценить значение пригородных электропоездов, или «электричек», как называют их пассажиры. Моторвагонный подвижной состав (МВПС), или пригородный железнодорожный транспорт, обеспечивает мобильность населения, он часто является важным способом передвижения до места работы и (или) проживания работающих россиян в мегаполисах, так как автомобильные дороги сильно загружены.

Очевидно, что отказ узлов (деталей) электропоезда угрожает безопасности движения всех поездов, а также может послужить причиной нарушения их графика движения, что, несомненно, влечет за собой негативный экономический эффект.

Колесные пары моторных, прицепных и головных вагонов электропоезда имеют отличную друг от друга конструкцию. Колесо моторного вагона имеет составную конструкцию и состоит из колесного центра, на который насажены бандажи. Колесная пара прицепного и головного вагонов состоит из двух цельнокатаных безбандажных колес.

В процессе эксплуатации согласно расписанию частые остановки электропоезда (через 3–5 км) увеличивают вероятность появления дефектов на поверхности катания (ползуны, навары, выщербины и др. (рис. 1)). Кроме того, из-за больших динамических нагрузок, которые возникают при движении, изнашивается гребень бандажей (цельнокатаных колес), образуется прокат.

При возникновении внештатной ситуации (а такие случаются, как правило, в результате снижения скорости при приближении к остановке) машинист электропоезда вынужден применять служебное или экстренное торможение. В этом случае тормозная колодка давит на бандаж (колесо) с предельно возможным усилием, и именно тогда на колесах электропоезда возникают различные дефекты, чаще всего это выбоина (ползун), которая образуется при заклинивании колесной пары МВПС.

Например, при скорости $V = 70$ км/ч и нажатии $K = 1$ тс коэффициент трения тормозной чугунной колодки о бандаж $\varphi_k = 0,146$. Значит, сила трения колодки $T = \varphi_k = 0,146$ тс. При резком увеличении силы нажатия (в два раза), т.е. до $K = 2$ тс, при той же скорости 70 км/ч коэффициент трения $\varphi_k = 0,115$. При этом сила трения составит $T = 0,230$ тс, т.е. увеличивается в 1,57 раза ($0,230/0,146$). При возрастании силы нажатия до пяти раз ($K = 5$ тс) коэффициент трения при той же скорости $V = 70$ км/ч оказывается $\varphi_k = 0,09$, а сила трения $T = 0,450$ тс, т.е. увеличивается в 3,08 раза ($0,450/0,146$), это видно из рис. 2.

Ситуация, когда колесные пары заклинивает, естественно, не является нормой, это результат неправильной работы, обслуживания и настройки тормозной системы электропоезда либо управления ею. На основе собранной априори достоверной статистической информации о неисправностях колесных пар электропоездов

ЭТ2, ЭТ2М, ЭД2Т, ЭД4, которые приписаны к эксплуатационному моторвагонному депо Свердловск, выявлено, что в период 2015–2016 гг. было зафиксировано 18 отказов, связанных с нарушением критерия безопасности движения и графика движения поездов по причине экстренного торможения с последующим заклиниванием колесных пар в рельсовой колее.



Рис. 1. Дефекты на бандаже (колесе) вагона МВПС

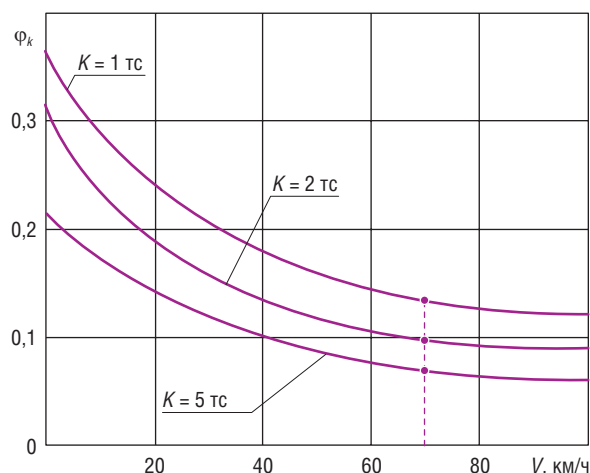


Рис. 2. Зависимость действительного коэффициента трения колодок о бандаж от величины действительного нажатия колодки и скорости

Кроме того, на основе собранной в 2015–2016 гг. и обработанной статистической информации в депо Свердловской дирекции моторвагонного подвижного состава установлено, что причинами повреждения бандажей (наличия дефектов) колесных пар моторных вагонов электропоездов являются, прежде всего, следующие факторы:

- свойство стали бандажей и рельсов;
- химический состав, микроструктура, шероховатость и твердость верхнего слоя бандажа, определяющие устойчивость по отношению к сжимающим силам и растягивающим усилиям в колесной паре;
- угол наклона гребня колеса, определяемый конфигурацией профиля поверхности катания бандажа и интенсивностью его износа;
- положение колесной пары в рельсовой колее, которое характеризуется углом набегания;
- степень кривизны оси пути;
- величина коэффициентов трения в трибосистемах «колесо — головка рельса», «гребень бандажа — внутренняя грань головки рельса»;
- наличие смазки на выкружке бандажей (радиус перехода от гребня к поверхности катания) или внутренней боковой грани головки рельса;
- наличие загрязнений и различных повреждений контактных поверхностей бандажей колесных пар и головок рельсов;
- атмосферные условия (температура, влажность, сила ветра) [1, 2].

Такие повреждения должны быть выявлены и устранены в полном объеме. Для ликвидации этих дефектов выполняется техническое обслуживание ТО-4 (обточка бандажей (колес)) в условиях ремонтного моторвагонного депо на стационарных колесно-фрезерных и (или) колесно-токарных станках при выкатке (отдельной колесной пары) или без выкатки колесных пар из-под МВПС [3].

Согласно Правилам технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации (ПТЭ), при обнаружении машинистом на остановочном пункте на колесной паре моторного вагона электропоезда ползуна глубиной от 1 до 2 мм допускается движение МВПС до ближайшей станции со скоростью 15 км/ч, а при глубине ползуна от 2 до 4 мм разрешается движение со скоростью до 10 км/ч при вывешивании колесной пары или исключении возможности ее вращения.

Возникает вопрос: что делать, например, если при движении электропоезда по маршруту Екатеринбург-Пасс. — Каменск-Уральский в конечном пункте или в пути следования на остановочном пункте машинистом было выявлено наличие на бандажах (колесах) ползуна (ползунов) величиной более 4 мм? На станции Каменск-Уральский нет ремонтного моторвагонного или сервисного локомотивного депо. Выполнить обточку с устранением повреждений (ползунов) нет возможности. Дальнейшая эксплуатация электропоезда с неисправными колесными парами невозможна. Производить вывешивание колесных пар? А дальше что делать? Отцеплять вагон (вагоны) с неисправными колесными парами или вызывать восстановительный поезд? Грузить вагоны (тележки) с неисправными колесными па-

рами на специальные платформы и отправлять в ближайшее ремонтное моторвагонное депо (в Нижний Тагил или Пермь)?

В соответствии с требованиями программы «Стратегия научно-технологического развития холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 года и на перспективу до 2025 года», одобренной на заседании совета главных инженеров ОАО «РЖД» 23–24 марта 2017 г., поставлена задача разработать токарный мобильный станок с возможностью обточки колесных пар вагонов на станции или остановочном пункте непосредственно под электропоездом.

В отличие от аналогов (станок WTL 8100–1 американской компании Delta Manufacturing и мобильное устройство 1AK200-ZIP, разработанное эстонской компанией ENDORFIN Ltd.) мобильный станок УргУПС не требует специально оборудованной площадки для обточки колесных пар. Устранение неисправностей бандажей (колес), появляющихся в процессе эксплуатации, производится без выкатки колеса из-под вагона электропоезда. Мобильный станок не требует стационарного источника питания (220 или 380 В), его можно использовать там, где имеется асфальтированная или бетонированная площадка на уровне головки рельса. Станок схематично показан на рис. 3.

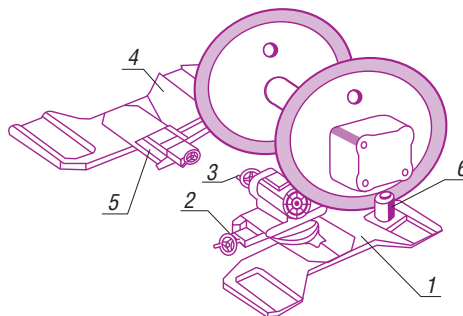


Рис. 3. Мобильный токарный станок для обточки колесных пар

Мобильный токарный станок состоит из следующих основных элементов: переносной станины 1, суппорта 2, привода 3, реостата 4, мобильного источника питания 5 и гидравлических домкратов 6.

Суппорт 2 состоит из двух салазок, которые обеспечивают подачу резца параллельно и (или) перпендикулярно оси станины и колесной пары, которую необходимо обточить. Привод 3 состоит из электродвигателя постоянного тока (мощность $N = 5$ кВт, скорость вращения $n = 1400$ об/мин.), который передает вращательный момент на бандаж и механизм для плавного регулирования силы сцепления валика с колесом и станиной.

Реостат (мощность $N_1 = 10$ кВт) включает в себя набор активных сопротивлений и шесть рубильников. Источник питания 5 — это трансформатор напряжения, диодный мост и измерительные приборы тока и напряжения.

Все составляющие токарного станка мобильны и просты в использовании, не требуют каких-либо специальных навыков.

Вращение колесной пары моторного вагона обеспечивается от тягового электродвигателя МВПС, который, как известно, получает питание от контактной сети. В качестве источника питания при обточке колес можно использовать и аккумуляторную батарею электропоезда. Напряжение в 40–60 В достаточно, оно снимается с батареи переносным медным кабелем сечением 40 мм² и подводится к соединительным клеммам реостата 4 [4]. Для стабилизации оборотов колесной пары и обеспечения бесступенчатого регулирования при обточке нами предлагается использовать высокочастотный преобразователь. После подключения двигателя (или аккумуляторной батареи) колесная пара приводится во вращение со скоростью сначала 25–100 об/мин с увеличением до 200–240 об/мин.

Для обточки поверхности катания цельнокатаных колесных пар головных и прицепных вагонов электропоезда предусматривается использование привода 3, состоящего из электродвигателя постоянного тока, который передает вращательный момент на колесо и меха-

низм для регулировки силы сцепления валика с колесом и станиной.

При использовании мобильного токарного станка УрГУПС процесс обточки происходит следующим образом (рис. 4):

- перед обточкой поверхность колеса контролируется профильным абсолютным шаблоном;
- с использованием двух гидравлических домкратов 6 (грузоподъемность 30 т) колесная пара предварительно вывешивается и отрывается от головки рельса на расстояние 15–25 мм;
- под обрабатываемую колесную пару подводится суппорт 2;
- один домкрат 6 устанавливается на поверхность станины суппорта 2 и служит для его фиксации относительно обрабатываемого колеса, второй домкрат 6 устанавливается на уровне поверхности станины привода 3;
- резцедержатель подводится к обрабатываемой поверхности, и начинается процесс обточки резцом. Обрабатываемая поверхность колеса контролируется абсолютным шаблоном.

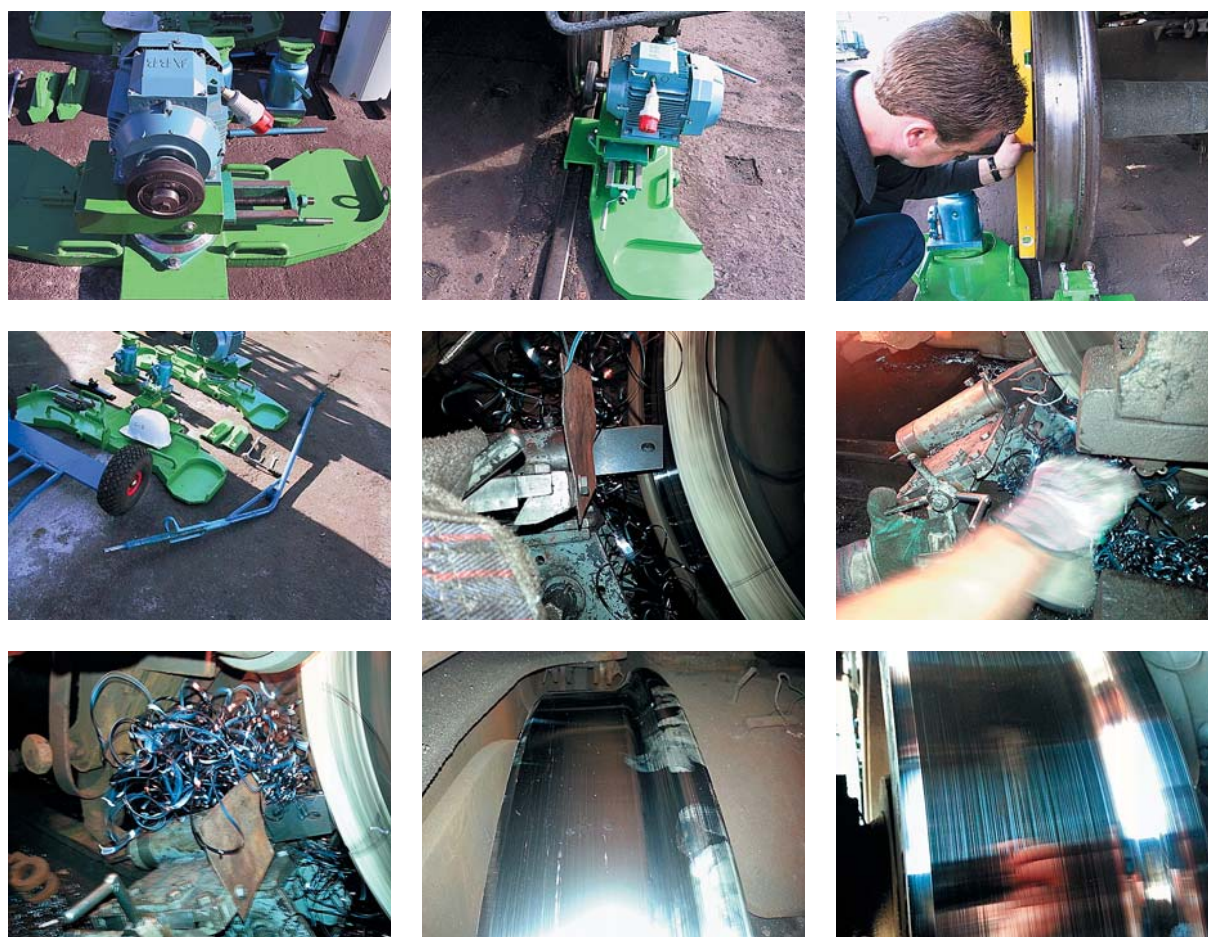


Рис. 4. Обточка станком УрГУПС

Домкраты 6 являются основным фиксирующим звеном суппорта 2 и валика привода 3 относительно обрабатываемой колесной пары.

Возможно подключение мобильного токарного станка УрГУПС к сети переменного тока 220 В, к мобильному источнику питания 5 напряжением 40 (или 60) В и током 100 А.

Используя реостат 4, устанавливается минимальная и максимальная скорость вращения валика привода — 25 и 240 об/мин соответственно. Валик привода 3 подводится до сцепления с поверхностью катания бандажа (колеса) вагона, и с помощью реостата 4 увеличивается скорость вращения валика привода 3, скорость вращения обрабатываемого бандажа (колеса) доводится до 200–240 об/мин.

При обточке колеса вагона МВПС имеется возможность регулировки глубины резания, после обточки за один проход диаметр бандажа (колеса) уменьшается на величину от 0,5 до 2 мм [5].

Разработанным мобильным токарным станком УрГУПС обточка и (или) устранение неисправностей (дефектов) вагонных бандажей (колес), которые об-

наруживаются в процессе эксплуатации МВПС, производится непосредственно под электропоездом, без выкатки колесной пары [6]. Применение такого станка позволит существенно снизить себестоимость при обточках колесных пар электропоезда. Восстановление конфигурации профиля поверхности катания бандажей (колес) у одной колесной пары займет от 2 до 4 часов в зависимости от степени их износа и наличия дефектов. В настоящее время по рекомендации старшего вице-президента ОАО «РЖД» ведутся работы по увеличению производительности мобильного токарного станка УрГУПС и уменьшению времени для обточки и (или) устранения неисправностей [6]. Так как оборудование мобильное, то восстановление конфигурации профиля поверхности катания может быть произведено в любых условиях, что в свою очередь уменьшает степень негативного воздействия на путь и стрелочные переводы на пути следования электропоезда к месту ремонта. Кроме того, мобильный токарный станок УрГУПС имеет небольшие габариты и общую массу 28 кг, его можно возить с собой в нерабочей кабине управления электропоезда. **ИТ**

Список литературы

1. Буйносов А. П., Денисов Д. С. О некоторых причинах образования дефектов бандажей колесных пар электропоездов 2ЭС10 «Гранит» // Научно-технический вестник Поволжья. — 2013. — № 4. — С. 113–115. — ISSN 2079–5920.
2. Буйносов А. П., Умылин И. В. Триботехнические составы, их применение для повышения износостойкости пар трения // Научно-технический вестник Поволжья. — 2016. — № 2. — С. 51–53. — ISSN 2079–5920.
3. Буйносов А. П., Умылин И. В. Новый блок управления системы гребнесмазывания железнодорожного подвижного состава // Научно-технический вестник Поволжья. — 2015. — № 6. — С. 99–101. — ISSN 2079–5920.
4. Буйносов А. П., Умылин И. В. Анализ процесса эксплуатационного износа гребней бандажей колесных пар подвижного состава // Научные открытия в эпоху глобализации : сборник статей междунар. науч.-практ. конф. — Уфа, 2016. — С. 28–34.
5. Буйносов А. П., Умылин И. В. Повышение ресурса бандажей колесных пар моторных вагонов электропоездов // Инновации, технологии, наука : сборник статей междунар. науч.-практ. конф. — Уфа, 2015. — С. 44–48.
6. Буйносов А. П., Козаков Д. Ю. Разработка мобильного станка для обточки колесных пар электропоезда // Научно-технический вестник Поволжья. — 2015. — № 3. — С. 97–100. — ISSN 2079–5920.



Андрей Вадимович
Бунзя
Andrei V. Bunzja

К расчету эффективности применения частотного регулирования насосов железнодорожной станции

To the calculation of the effectiveness of the application of frequency control of pumps of a railway station

Аннотация

На основании анализа данных учета параметров водоснабжения и контрольных замеров произведена оценка экономической эффективности модернизации насосной станции путем установки преобразователей частоты асинхронных двигателей насосов.

Ключевые слова: насосы, асинхронный двигатель, преобразователь частоты, экономическая эффективность.

Abstract

Based on the analysis of data on water supply parameters and control measurements, the economic efficiency of modernization of the pumping station was estimated by installing frequency converters for rotary-field motors of pumps.

Keywords: pumps, rotary-field motor, frequency converter, economic efficiency

DOI:10.20291/2311-164X-2017-2-51-54

Авторы Authors

Андрей Вадимович Бунзя, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрические машины» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

Andrei Vadimovich Bunzja, Cand. of Tech. Sciences, Associate Professor of the Department of "Electric Machines" of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg

Модернизация действующего асинхронного электропривода путем внедрения преобразователя частоты может привести к существенному энергосбережению, поэтому является актуальной задачей.

Особенностью работы насосной установки железнодорожной станции является изменение количества подаваемой воды в течение суток, недель и времени года. Меняющийся расход воды приводит к изменению создаваемого установкой напора, минимальное значение которого должно соответствовать строительным нормам и правилам. Для обеспечения требуемого напора при максимальном расходе воды нерегулируемые насосы создают завышенный напор в магистрали при сниженном расходе.

Рассмотрим работу основной насосной станции на железнодорожной станции *N*.

На основной насосной станции установлены насосы типа Д 200/36 с подачей 200 м³/ч, подъемом 36 м, номинальными оборотами 1450 об/мин, мощностью 35 кВт [1], приводимые в движение асинхронными двигателями типа 4АМН 180 М4УЗ мощностью 37 кВт, напряжением 380 В, номинальный ток 72,5 А, обороты 1470 об/мин, $\cos \varphi = 0,86$.

Данные для анализа расхода воды были взяты из суточных и почасовых ведомостей учета параметров ХВС по станции *N* в течение года. Анализ показывает, что среднее значение давления за год составляет 4,035 атм при среднем суточном объеме потребления воды 319,2 м³, среднем почасовом потреблении 13,3 м³.

Этажность застройки на станции *N* не превышает 4 этажей. Потребный напор, согласно СНиП 2.04.02–84, п. 2.26 [2], составляет 10 м + 4 эт · 3 м = 22 м. С учетом линейных потерь напора необходимый напор на выходе из насоса должен составлять 30–32 м, что соответствует давлению 3,0–3,2 атм.

Таким образом, без устройства частотного регулирования (УЧР) в магистрали создается избыточное давление, что приводит к повышенным затратам электроэнергии. Применение УЧР с датчиком давления позволяет поддерживать заданное требуемое значение 3,2 атм путем изменения частоты вращения двигателя насоса и не тратить электроэнергию на создание избыточного давления.

Кроме того, анализ ведомостей почасового потребления показывает, что при малой подаче давление значительно превышает требуемое. Так, в июле при подаче 4,05 м³/ч давление имело значение 4,57 атм, а при 0,3 м³/ч — 4,84 атм. Также необходимо отметить, что повышенный расход воды приводит к снижению напора значительно ниже требуемого. Например, в первых числах января при подаче 24,5 м³/ч было отмечено давление 2,91 атм, при 27,9 м³/ч — 2,87 атм, а при 30,9 м³/ч — даже 2,34 атм!

В этих случаях применение УЧР просто необходимо, так как это устройство позволяет обеспечить тре-

буемый напор 3,2 атм за счет увеличения частоты вращения насоса [3, 4].

Для указанных параметров насоса и двигателя может быть выбрано несколько типов преобразователей частоты, обеспечивающих функцию поддержки требуемого напора. В соответствии с [5], проведем расчет экономической эффективности для частотного регулятора средней ценовой категории PumpMaster PM-P540–37K-RUS стоимостью 135 850 руб.

Установка УЧР предполагает капитальные вложения, но экономит электроэнергию и позволяет обеспечить требуемый напор. Рассчитаем затраты, имеющие место при работе насосной станции с указанным УЧР. При этом насосы работают в оптимальном режиме, обеспечивая в магистрали напор, требуемый СНиП, т.е. 3,2 атм.

Замеры, произведенные на основной насосной станции на железнодорожной станции *N*, дали следующие результаты. Давление в магистрали, определенное по манометру, было равно 4,0 атм. Линейные напряжения U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} , подаваемые на двигатель насоса, составили соответственно 401 В, 408 В и 406 В, а токи фаз двигателя I_A , I_B , I_C , имели значения 33,5 А, 41,5 А и 39,3 А.

Таким образом, замеренное давление 4,0 атм оказалось практически равным (с погрешностью, меньшей 1%) среднему годовому давлению 4,035 атм, что позволяет с достаточной точностью воспользоваться указанными значениями электрических параметров двигателя для определения затрат на электроэнергию в год.

При этом электрическая мощность, потребляемая двигателем, согласно [6], равна:

$$P = 3U_{\phi}I_{\phi}\cos\varphi,$$

где U_{ϕ} — среднее фазное напряжение, $U_{\phi} = 233,83$ В; I_{ϕ} — средний фазный ток, $I_{\phi} = 38,1$ А; $\cos \varphi$ — коэффициент мощности двигателя, $\cos \varphi = 0,86$.

$$P = 3 \cdot 233,83 \cdot 38,1 \cdot 0,86 = 22984,71 \text{ Вт.}$$

Расход электроэнергии за год составляет:

$$W_{\text{год}} = W_{\text{ч}} \cdot 24 \cdot 30 \cdot 12,$$

где $W_{\text{ч}}$ — расход электрической энергии за час, $W_{\text{ч}} = 22,98$ кВт·ч; 24 — число часов в день; 30 — число дней в месяце; 12 — число месяцев в году;

$$W_{\text{год}} = 22,98 \cdot 24 \cdot 30 \cdot 12 = 198\,587,92 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Затраты на электроэнергию в год:

$$Z_{\text{эл.г}} = c \cdot W_{\text{год}},$$

где c — стоимость 1 кВт·ч, $c = 2,70$ руб.

$$Z_{\text{эл.г}} = 2,70 \cdot 198\,587,92 = 536\,187,38 \text{ руб.}$$

Работа насосного агрегата с УЧР и датчиком давления, установленного в магистрали, позволяет поддерживать напор, требуемый СНИП, т.е. 3,2 атм.

Известно [3, 4], что напор, развиваемый насосом, пропорционален квадрату частоты вращения его рабочего колеса. Тогда отношение частоты n_1 , необходимой для обеспечения требуемого напора 3,2 атм, к частоте n , обеспечивающей средний годовой напор 4,0 атм, определяется:

$$n_1 / n = \sqrt{H_1 / H},$$

где H_1 — напор, требуемый СНИП, $H_1 = 3,2$ атм; H — средний годовой напор, $H = 4,0$ атм.

$$n_1 / n = \sqrt{3,2/4,0} = 0,8944.$$

В свою очередь, мощность, развиваемая насосом, пропорциональна кубу частоты вращения [4]. Тогда отношение мощности насоса N_1 , необходимой для обеспечения требуемого напора, к мощности N , обеспечивающей средний годовой напор, определяется:

$$N_1 / N = (n_1 / n)^3,$$

$$N_1 / N = 0,8944^3 = 0,7155.$$

Электрическая мощность P , потребляемая двигателем насоса при среднем годовом напоре, находится из выражения

$$P = N / (\eta_{\text{нас}} \cdot \eta_{\text{дв}});$$

а мощность P_1 , потребляемая двигателем насоса при обеспечении требуемого напора (после установки ЧР), — из выражения

$$P_1 = N_1 / (\eta_{\text{нас}} \cdot \eta_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{чр}}),$$

где $\eta_{\text{нас}}$, $\eta_{\text{дв}}$, $\eta_{\text{чр}}$ — коэффициенты полезного действия соответственно насоса, двигателя и частотного регулятора.

Тогда электрическая мощность P_1 , потребляемая двигателем насоса при обеспечении требуемого напора 3,2 атм (после установки ЧР), находится из соотношения:

$$P_1 = (N_1 / N) \cdot P / \eta_{\text{чр}},$$

где $\eta_{\text{чр}}$ — КПД частотного регулятора, $\eta_{\text{чр}} = 0,92$, P — электрическая мощность, потребляемая двигателем при среднем годовом напоре 4,0 атм (определена ранее), $P = 22984,71$ Вт.

$$P_1 = 0,7155 \cdot 22984,71 / 0,92 = 17876,65 \text{ Вт.}$$

Расход электроэнергии за год составит:

$$W_{\text{год чр}} = W_{\text{ч чр}} \cdot 24 \cdot 30 \cdot 12,$$

где $W_{\text{ч чр}}$ — расход электрической энергии за час, $W_{\text{ч чр}} = 17,88$ кВт·ч.

$$W_{\text{год чр}} = 17,88 \cdot 24 \cdot 30 \cdot 12 = 154\,454,29 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Затраты на электроэнергию в год:

$$Z_{\text{эл. г чр}} = c \cdot W_{\text{год чр}},$$

$$Z_{\text{эл. г чр}} = 2,70 \cdot 154\,454,29 = 417\,026,58 \text{ руб.}$$

Работа насосной станции без устройства регулирования частоты вращения двигателей насосов не требует капитальных затрат.

Установка УЧР предполагает следующие капитальные вложения:

$$K_{\text{чр}} = C_{\text{чр}} + C_{\text{д}} + C_{\text{м.п}} + C_{\text{т}},$$

где $C_{\text{чр}}$ — стоимость частотного регулятора, $C_{\text{чр}} = 135\,850$ руб.; $C_{\text{д}}$ — стоимость датчика давления, равная 4% от стоимости УЧР, $C_{\text{д}} = 5434$ руб.; $C_{\text{м.п}}$ — затраты на монтажные и пуско-наладочные работы, равные 10% от стоимости УЧР, $C_{\text{д}} = 13585$ руб.; $C_{\text{т}}$ — затраты на транспортные расходы, равные 1% от стоимости УЧР, $C_{\text{д}} = 1359$ руб.

$$K_{\text{чр}} = 135\,850 + 5434 + 13585 + 1359 = 156\,228 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления:

$$A = K_{\text{чр}} / n,$$

где n — предполагаемый срок службы УЧР, $n = 10$ лет.

$$A = 156\,228 / 10 = 15\,623 \text{ руб.}$$

Доля капитальных вложений, отнесенная к 1 году:

$$K_{\text{г чр}} = (K_{\text{чр}} + A) / n,$$

$$K_{\text{г чр}} = (156\,228 + 15\,623) / 10 = 17\,185 \text{ руб.}$$

Годовые затраты при работе насосной станции без УЧР равны годовым затратам на электроэнергию:

$$Z = Z_{\text{эл. г}} = 536\,187,38 \text{ руб.}$$

Годовые затраты при внедрении УЧР, кроме годовых затрат на электроэнергию, содержат годовую долю капитальных вложений:

$$Z_{\text{чр}} = Z_{\text{эл г чр}} + K_{\text{г чр}},$$

$$Z_{\text{чр}} = 417\,026,58 + 17\,185 = 434\,211,61 \text{ руб.}$$

Определим экономию средств в год от внедрения УЧР как разность годовых затрат рассмотренных проектов:

$$\Theta = Z - Z_{\text{чр}},$$

$$\Theta = 536\,187,38 - 434\,211,61 = 101\,975,77 \text{ руб.}$$

Экономия текущих затрат (затрат на электроэнергию) от внедрения УЧР:

$$R = Z_{\text{эл г}} - Z_{\text{эл г чр}},$$

$$R = 536\,187,38 - 417\,026,58 = 119\,160,79 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости инвестиций при внедрении УЧР определяется из выражения:

$$T = (K_{\text{чр}} + A)/R,$$

$$T = (156\,228 + 15\,623)/119\,160,79 = 1,44 \text{ года.}$$

Таким образом, выполненный расчет показал, что проект по внедрению УЧР с коммерческой точки зрения является эффективным. УЧР позволяет сократить расход энергии на 119 тыс. руб. в год на данной насосной станции. Расчетный экономический эффект составляет 101 тыс. руб. в год на одно устройство. Срок окупаемости инвестиций значительно меньше предполагаемого 10-летнего срока службы УЧР и равен 1,44 года. **ИТ**

Список литературы

1. Насосы центробежные двухстороннего входа типа Д и агрегаты электронасосные на их основе. Руководство по эксплуатации Н 03.3.302.00.00.000 РЭ / ОАО «Ливгидромаш», г. Ливны. — URL: [http://www.ltpumps.lt/files/dvipusio-iejimo-siurbliai\[2\].pdf](http://www.ltpumps.lt/files/dvipusio-iejimo-siurbliai[2].pdf)
2. СНиП 2.04.02–84. Строительные нормы и правила. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. — М. : Государственный комитет СССР по делам строительства, 1985.
3. Якубчик П. П. Насосы и насосные станции. — СПб. : Изд. центр ПГУПС, 1997. — 167 с.
4. Белов М. П., Новиков В. А., Рассудов Л. Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. — М. : Изд. центр «Академия», 2004. — 574 с.
5. Методические рекомендации по определению экономической эффективности мероприятий научно-технического прогресса на железнодорожном транспорте / ВНИИЖТ МПС. — М. : Транспорт, 1991. — 239 с.
6. Худонов А. М., Худонов И. А., Лыткина Е. М. Основы электропривода технологических установок с асинхронным двигателем. — М. : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. — 334 с.



Сергей Александрович
Маринин
Sergey A. Marinin

Влияние окон для ремонтных и строительномонтажных работ на участковую скорость движения грузовых поездов

Influence of windows for installation and construction works on the service speed of freight trains

Аннотация

В статье предложена методика оценки влияния предоставленных окон для ремонтных и строительномонтажных работ на уровень выполнения участковой скорости движения грузовых поездов.

Ключевые слова: прогнозирование показателей, участковая скорость, грузовой поезд.

Abstract

In the article the technique of an estimation of influence of the given windows for repair and installation and construction works on a level of performance of a section speed of movement of freight trains.

Keywords: forecasting of indicators, service speed, freight train.

DOI:10.20291/2311-164X-2017-2-55-58

Авторы Authors

Сергей Александрович Маринин, канд. техн. наук, начальник отдела по работе со станциями Нижегородского центра организации работы железнодорожных станций, Нижний Новгород; e-mail: marininsergey.nn@mail.ru

Sergey Aleksandrovich Marinin, Cand. of Tech. Sciences, Head of the Station Operations Department of the Nizhny Novgorod Center for the Organization of Work of Railway Stations, Nizhny Novgorod; e-mail: marininsergey.nn@mail.ru

Участковая скорость движения грузовых поездов [1], как известно, является одним из основных бюджетных показателей ОАО «РЖД», характеризующих эффективность перевозочного процесса. Одним из факторов, приводящих к наибольшему ее снижению, является предоставление окон для ремонтных и строительно-монтажных работ. Поэтому актуальными являются задачи оценки степени влияния окон на участковую скорость движения грузовых поездов, а также прогнозирования уровня ее выполнения.

Для определения характера влияния предоставленных окон для ремонтных и строительно-монтажных работ на участковую скорость были собраны помесечные данные о количестве и продолжительности предоставленных окон и выполнении участковой скорости на Горьковской железной дороге в период с 2010 по 2015 г. По каждому году был вычислен коэффициент корреляции между участковой скоростью и количеством предоставленных окон, а также между участковой скоростью и общей продолжительностью предоставленных окон.

Коэффициенты корреляции были определены по формуле [2]:

$$r_{xy} = \frac{M\{[X - M(X)][Y - M(Y)]\}}{\sqrt{M(X^2) - [M(X)]^2} \sqrt{M(Y^2) - [M(Y)]^2}}, \quad (1)$$

где M — математическое ожидание исследуемой величины.

Далее с использованием T -критерия [3] проведена проверка значимости полученного влияния:

$$T = r_{xy} \frac{\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{xy}^2}}, \quad (2)$$

где n — объем выборки.

Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, на участковую скорость оказывают значимое влияние и количество предоставленных окон, и их общая продолжительность. Но в большей степени влияет общая продолжительность предоставленных окон, о чем говорят более высокие значения коэффициента корреляции, поэтому при проведении анализа необходимо учитывать общую продолжительность предоставленных окон.

Таблица 1

Проверка значимости влияния окон на участковую скорость движения грузовых поездов

Год	Проверяемая пара	Коэффициент корреляции	T -критерий	Критическое значение T -критерия	Коррелированы?
2010	Количество окон — участковая скорость	-0,79	4,07	2,23	Да
	Общая продолжительность окон — участковая скорость	-0,76	3,71	2,23	Да
2011	Количество окон — участковая скорость	-0,71	3,18	2,23	Да
	Общая продолжительность окон — участковая скорость	-0,71	3,21	2,23	Да
2012	Количество окон — участковая скорость	-0,67	2,85	2,23	Да
	Общая продолжительность окон — участковая скорость	-0,8	4,27	2,23	Да
2013	Количество окон — участковая скорость	-0,58	2,28	2,23	Да
	Общая продолжительность окон — участковая скорость	-0,79	4,02	2,23	Да
2014	Количество окон — участковая скорость	-0,83	4,66	2,23	Да
	Общая продолжительность окон — участковая скорость	-0,9	6,53	2,23	Да
2015	Количество окон — участковая скорость	-0,53	1,97	2,23	Нет
	Общая продолжительность окон — участковая скорость	-0,7	3,1	2,23	Да

Поскольку данные о выполнении участковой скорости формируются на основе информации с маршрутных листов машинистов, возникает задержка в поступлении информации. То есть поезд задерживается на участке по причине предоставления окон для ремонтных и строительно-монтажных работ, а влияние этой задержки на участковую скорость проявляется только спустя некоторое время. Данные потери времени обусловлены необходимостью возвращения локомотивной бригады из поездки и обработки маршрутного листа машиниста.

Для определения времени задержки информации были собраны посуточные данные об общей продолжительности предоставленных окон и участковой скорости за 2015 г. Сначала определен коэффициент корреляции между общей продолжительностью предоставленных окон и участковой скоростью по формуле (1). Далее коэффициент корреляции был определен между общей продолжительностью предоставленных окон в одни сутки и участковой скоростью в следующие сутки, т.е. со смещением на одни сутки. Таким же образом были сопоставлены рассматриваемые величины со смещением на несколько суток вперед. По полученным данным на рис. 1 построена соответствующая зависимость.

Из приведенного графика отчетливо видно, что полученный коэффициент корреляции между общей продолжительностью предоставленных окон и участковой скоростью имеет наибольшее значение при смещении на 1 сутки. На основе этих результатов сделан вывод, что наибольшее влияние на участковую скорость предоставленные окна оказывают в следующие сутки, что обусловлено, как уже было сказано выше, затратами времени на поступление информации с маршрутного листа машиниста.

Так как основная масса окон для ремонтных и строительно-монтажных работ предоставляется в рабо-

чие дни недели, для оценки влияния предоставленных окон на участковую скорость была рассмотрена зависимость между общей продолжительностью предоставленных окон и участковой скоростью по дням недели. Результаты приведены на рис. 2. Пунктирными линиями на графике нанесены аппроксимирующие кривые.

Как видно из рис. 2, наименьшая общая продолжительность предоставленных окон имеет место быть в субботу и воскресенье. Участковая же скорость наибольшее зна-

чение имеет в воскресенье и понедельник. Это также подтверждает сформулированную выше закономерность.

Полученную закономерность о формировании участковой скорости в следующие сутки после фактически выполненных поездок можно применять и к другим показателям, формируемым на основании данных с маршрутного листа машиниста.

Не менее важно ввести количественную оценку влияния предоставленных окон для ремонтных и строительно-монтажных работ на участ-

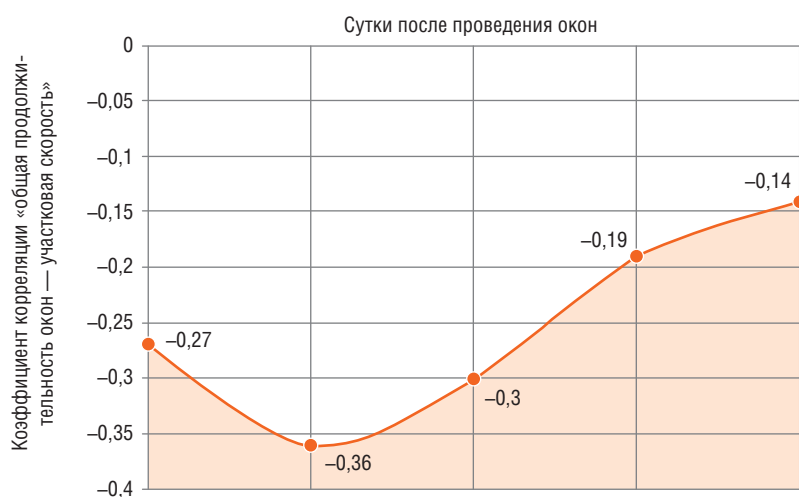


Рис. 1. Коэффициент корреляции пары «общая продолжительность окон — участковая скорость»

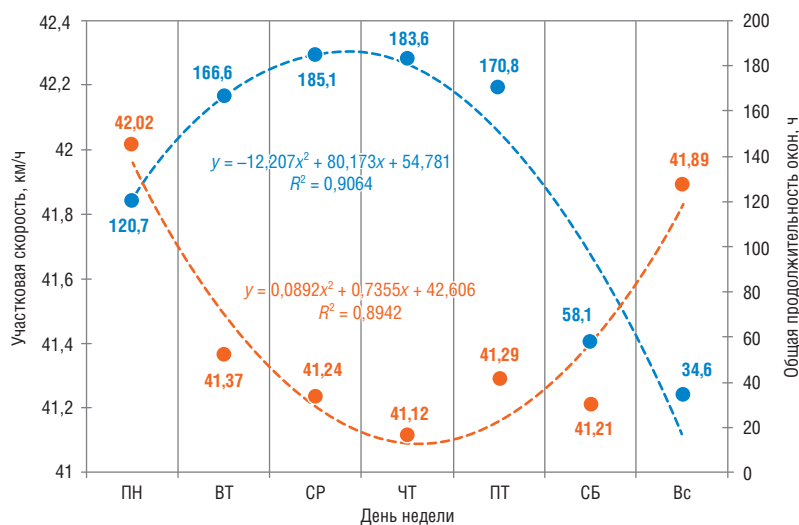


Рис. 2. Участковая скорость и общая продолжительность окон по дням недели

ковую скорость. Для этого на рис. 3 на основании посуточных данных за 2015 г. была построена зависимость между общей продолжительностью предоставленных окон за сутки и участковой скоростью в следующие сутки.

Как видно из рис. 3, при максимальном предоставлении окон снижение участковой скорости составляет до 3 км/ч. Данную зависимость можно получить для любого участка железной дороги с учетом его развития и размеров движения поездов и использовать для оценки потерь участковой скорости. **ИТ**

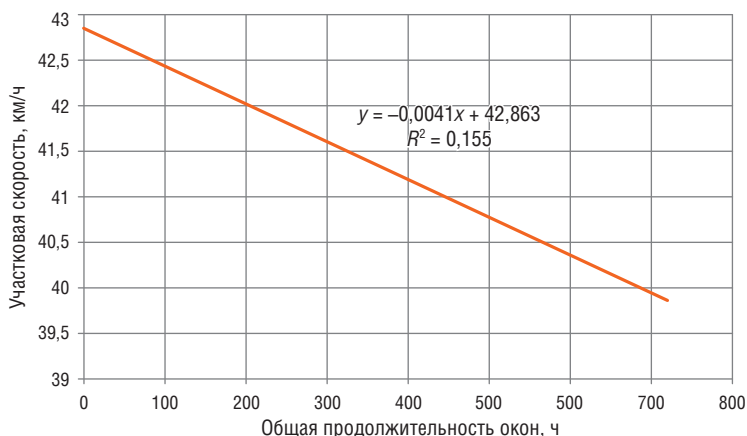


Рис. 3. Зависимость между общей продолжительностью окон и участковой скоростью

Список литературы

1. Кудрявцев В. А. Управление движением на железнодорожном транспорте. — М. : Маршрут, 2003. — 200 с. — ISBN 5-89035-116-8.
2. Шведов А. С. Теория вероятностей и математическая статистика. — М. : Высшая школа экономики, 2005. — 254 с. — ISBN 5-7598-0214-3.
3. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. — М. : Высшая школа, 2004. — 479 с. — ISBN 5-06-004214-6.



**Никита Михайлович
Домашов**
Nikita M. Domashov



**Дмитрий Германович
Неволин**
Dmitry G. Nevolin

Методика определения геометрических размеров глушителя болида «Формула студент» Уральского государственного университета путей сообщения

Method for determining the geometric dimensions of the muffler bolide “Formula Student” of the Ural State University of Railway Transport

Аннотация

Статья посвящена методике определения геометрических размеров глушителя студенческого болида по программе «Формула студент».

Ключевые слова: Уральский государственный университет путей сообщения, болид, «Формула студент», глушитель, определение геометрических размеров.

Abstract

The article is devoted to the method of determining the geometric dimensions of a student muffler bolide according to the Formula “Student program”.

Keywords: Ural State University of Railway Transport, bolide, Formula Student, muffler, determination of geometric dimensions.

DOI:10.20291/2311-164X-2017-2-59-65

Авторы Authors

Никита Михайлович Домашов — магистрант Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | Дмитрий Германович Неволин, действительный член Российской академии транспорта, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Проектирование и эксплуатация автомобилей» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

Nikita Mikhailovich Domashov, Master of Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg | Dmitry Germanovich Nevolin, full member of the Russian Academy of Transport, Dr. of Tech. Sciences, Professor, Head of the Department “Designing and Exploitation of Automobiles” of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg

Обоснование параметров

В качестве объекта исследования были выбраны глушители резонансного типа. Поставлена задача определения геометрических размеров глушителя и степени их влияния на уровень поглощенной звуковой энергии. На рис. 1 представлен глушитель-резонатор.

Глушитель-резонатор состоит из 4 частей, главные из которых — корпус 2 и резонаторная трубка 3. Размеры именно этих элементов и влияют на эффективность работы глушителя. Рассмотрим цилиндрический глушитель как самую простую форму.

Для трубчатых глушителей с диаметром корпуса D и длиной глушителя L (два геометрических размера) затухание определяется по формуле (1) [1]:

$$\Delta L = 4,4 \cdot \alpha_{\text{ЭКВ}} \cdot L/D, \quad (1)$$

где ΔL — затухание в глушителе, ДБа; L — длина глушителя, м; D — диаметр корпуса, м; $\alpha_{\text{ЭКВ}}$ — эквивалентный коэффициент звукопоглощения облицовки.

В этой формуле зависимость поглощения энергии от геометрических размеров линейная: прямо пропорциональная и обратно пропорциональная соответственно. Проведя проверочный тест, можно сделать вывод, что линейность данной зависимости допустима только на низкочастотных шумах с малыми скоростями газа, поэтому необходимо определить влияние двух параметров (L и D).

В большинстве случаев, когда имеется необходимость спроектировать глушитель с определенными звуковыми характеристиками, параллельно преследуется цель сделать глушитель максимально легким и малогабаритным. Размер, определяющий габариты глушителя, — это внешний диаметр. В нашем случае это диаметр корпуса (D). Из вышесказанного следует, что размеры корпуса глушителя, способные повлиять на эффективность его работы, — это длина и внешний диаметр.

Длина резонаторной трубки точно так же влияет на эффективность работы глушителя. Наравне с длиной немаловажный эффект оказывает проходное сечение, а точнее его диаметр: чем он меньше, тем большее сопротивление создает и за счет разности давлений способствует снижению звуковой энергии, тратящейся на преодоление сопротивления.

Основной эффект оказывает перфорация глушителя, а именно диаметр отверстий (d_0) и расстояние между ними (t), поскольку основная часть звуковой энергии тратится при прохождении этих отверстий.

Меньшее влияние оказывает материал, из которого сделан глушитель, и толщина этого материала. В данной работе влияние этих параметров не будет учитываться.

Обобщим выбранные параметры, влияющие на эффективность работы глушителя, и отобразим их на рис. 2.

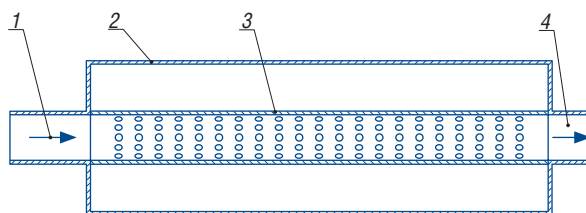


Рис. 1. Глушитель-резонатор:
1 — входная трубка; 2 — корпус; 3 — резонаторная трубка с отверстиями; 4 — выходная трубка в атмосферу

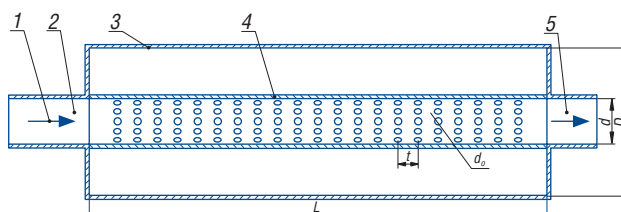


Рис. 2. Глушитель шума для болида «Формула студент» УрГУПС:
1 — направление движения газов;
2 — входная труба (от выхлопного коллектора);
3 — корпус глушителя; 4 — перфорированная труба;
5 — выходная труба (в атмосферу); d — диаметр проходной трубы; d_0 — диаметр отверстия перфорации; D — диаметр корпуса; t — шаг перфорации; L — длина глушителя

После определения проверяемых параметров необходимо уточнить, в каком диапазоне размеров и с каким шагом будут проверяться данные параметры.

Диаметр резонаторной трубки (d), как нам уже известно, обратно пропорционально влияет на эффективность работы глушителя. Точно так же он влияет и на мощность двигателя. Соответственно, чем меньше диаметр резонаторной трубки, тем больше звуковой энергии тратится на преодоление создаваемого ей сопротивления и тем больше потери мощности двигателя. Чтобы избежать большой потери мощности, диаметр трубки должен быть не меньше первичных труб выпускного коллектора. Также не имеет смысла делать диаметр больше конечных труб выпускного коллектора. Идеальным диаметром будет являться тот, который при максимальном снижении шума обеспечит минимальную потерю мощности.

На болиде «Формула студент» УрГУПС внутренний диаметр первичных труб равняется диаметру выпускного клапана 30 мм. Внутренний диаметр конечной трубы выпускного коллектора будет составлять 47 мм. Из этого следует, что диаметр резонаторной трубки должен варьироваться в пределах от 30 до 47 мм. Для удобства изготовления диаметры трубы должны быть кратны 5. В наших пределах получается 5 размерностей диаметра: 30, 35, 40, 45, 50 мм. Для чистоты эксперимента допустим диаметр 50 мм, что на 3 мм больше диаметра конечной трубы.

Диаметр перфорации d_0 должен подбираться для достижения необходимого эффекта резонанса. Из источника известно, что диаметр отверстий 5 мм считается крайним, дальнейшее его увеличение не несет никакого изменения в количестве поглощенной звуковой энергии глушителем. Для удобства производства диаметр отверстий будет увеличиваться с 1 до 5 с шагом в 1 мм.

Расстояние между отверстиями в резонаторной трубке t требует отдельного внимания. При слишком малом межосевом расстоянии и большом диаметре отверстий возможен вариант, когда резонаторная трубка не будет иметь перемычек между отверстиями. Это превращает глушитель-резонатор в глушитель-ограничитель. При большом межосевом расстоянии эффект резонанса будет теряться по причине долгого прохождения газа по прямому участку трубы. Это превращает глушитель в набор глушителей, имеющих один ряд перфорации.

При проверке влияния межосевого отверстия перфорации резонаторной трубки будет использоваться средний диаметр отверстий 3 мм. Для сохранения структуры резонатора минимальное расстояние между отверстиями должно быть 5 мм. С учетом межосевого расстояния с шагом 5 мм проверяемые размерности будут следующие: 5, 10, 15, 20, 25 мм.

Количество отверстий в резонаторной трубке определяется ее длиной, а значит, и длиной глушителя L . На автомобиле «Формула студент» УрГУПС глушитель шума располагается в правом понтоне. Понтон — аэродинамическая часть гоночного болида, расположенная по бокам от основной несущей конструкции (рамы). Понтон задает траекторию обтекания воздуха и позволяет размещать дополнительное оборудование в своем пространстве. Размеры понтона позволяют нам разместить в нем глушитель длиной до 500 мм, чтобы он не выходил за его пределы. Приняв шаг, равный 50 мм, для удобства производства получаем диапазон размерностей: 300, 350, 400, 450, 500 мм.

В целях сокращения расхода материала и принимая во внимание комментарии автора [2], что расстояние от центральной трубки до внешней стенки должно быть равно диаметру трубки, диаметр корпуса D будет подбираться минимально возможный. В нашем случае минимальный диаметр резонаторной трубки 30 мм. Допуская, что вместо наполнителя (каменной ваты) для глушения используется объем воздуха, минимальный диаметр корпуса будет составлять 90 мм. Увеличение диаметра с шагом 5 мм недостаточно для определения влияния его размеров на уровень поглощаемого глушителем шума, поэтому диаметр будет увеличиваться с шагом в 10 мм. Таким образом, диаметры глушителя составят 90, 100, 110, 120, 130 мм.

В мировом автопроизводстве для изготовления глушителей широко используются три материала:

нержавеющая сталь, алюминий, углепластик. Последний очень дорог в производстве, поэтому его мы рассматривать не будем. Сравним между собой сталь и алюминий. Среднерыночная стоимость нержавеющей стали 70 руб/кг, а алюминия — 180 руб/кг. Алюминий легко обрабатывается, это пластичный материал и легче поддается формовке, тем самым затрачивается меньшее количество энергии по сравнению со сталью, что является неоспоримым преимуществом при производстве глушителей круглого сечения. Для изготовления заготовок может использоваться как гидроабразивная резка, так и лазерная резка металла. В обоих случаях для раскройки алюминия толщиной 2 мм необходимо оборудование средней мощности. Это существенно уменьшает время обработки и ее стоимость по сравнению с той же обработкой листа из нержавеющей стали. Необходимое оборудование для сварки материалов применяется одинаковое. Исходя из этого, рациональней изготавливать глушители из алюминиевого листа.

Определившись с исследуемыми параметрами, размерностями и материалами, из которых будут произведены экспериментальные образцы, была разработана конструкторская документация.

Для проведения эксперимента по определению влияния геометрических размеров на эффективность снижения шума глушители должны быть изготовлены в соответствии с конструкторской документацией и соответствовать размерам, указанным в табл. 1.

Выбор оборудования

Эксперимент проводится совместно с Центром инноваций и технологий Уральского государственного университета путей сообщения (ЦИиТ УрГУПС) и на оборудовании ЦИиТ.

Эксперимент должен проводиться на работающем двигателе, отвечающем основным требованиям регламента Formula SAE:

- рабочий объем двигателя не должен превышать 610 см³;
- система впуска двигателя должна иметь ограничительную шайбу с диаметром отверстия 20 мм;
- топливный бак должен быть снабжен клапаном вентиляции;
- двигатель должен развивать обороты не менее 10 000 об/мин;
- двигатель должен быть оборудован кнопкой экстренного отключения питания двигателя.

Двигатель HONDA CBR 600 F4i (рис. 3) идеально соответствует этим требованиям и имеется в наличии в ЦИиТ. Технические характеристики двигателя стандартной комплектации приведены в табл. 2.

Размерности испытуемых глушителей

№	Обозначение	d , мм	d_0 , мм	D , мм	t , мм	L , мм
1	FS.305173.001	30	3	90	15	300
2	FS.305173.001-01	35	3	90	15	300
3	FS.305173.001-02	40	3	90	15	300
4	FS.305173.001-03	45	3	90	15	300
5	FS.305173.001-04	50	3	90	15	300
6	FS.305173.001-05	30	1	90	15	300
7	FS.305173.001-06	30	2	90	15	300
8	FS.305173.001-07	30	4	90	15	300
9	FS.305173.001-08	30	5	90	15	300
10	FS.305173.001-09	30	3	100	15	300
11	FS.305173.001-10	30	3	110	15	300
12	FS.305173.001-11	30	3	120	15	300
13	FS.305173.001-12	30	3	130	15	300
14	FS.305173.001-13	30	3	90	5	300
15	FS.305173.001-14	30	3	90	10	300
16	FS.305173.001-15	30	3	90	20	300
17	FS.305173.001-16	30	3	90	25	300
18	FS.305173.001-17	30	3	90	15	350
19	FS.305173.001-18	30	3	90	15	400
20	FS.305173.001-19	30	3	90	15	450
21	FS.305173.001-20	30	3	90	15	500

Н. М. Домашов, Д. Г. Неволлин | Методика определения геометрических размеров глушителя болида «Формула студент» УрГУПС



Рис. 3. Двигатель HONDA CBR 600 F4i

Для соответствия двигателя требованиям Formula SAE была доработана система питания воздухом. Вместо стандартной впускной системы был установлен рестриктор (рис. 4). Он представляет собой дроссельную заслонку и сам ограничитель. Ограничитель в средней части имеет минимальный внутренний диаметр, равный 20 мм.



Рис. 4. Рестриктор

Таблица 2

Технические характеристики двигателя HONDA CBR 600 F4i

Модельный год	2001–2006
Тип двигателя	Рядный 4-тактный
Рабочий объем двигателя	599 см ³
Модель двигателя	PC35
Число цилиндров	4
Расположение цилиндров	Вертикально под углом 31°
Число клапанов на цилиндр	4
Диаметр цилиндра	64 мм
Ход поршня	42,5 мм
Степень сжатия	12:1
Компрессия цилиндра	1,226 кПа
Система газораспределения	DOHC
Система смазки	Силового давления с отстойником
Фильтрация воздуха	Бумажный фильтр
Вес сухого двигателя	59 кг
Топливная система	PGM-FI
Система зажигания	Электронная
Порядок работы цилиндров	1–2–4–3
Система запуска	Электростартер
Система зарядки	Трехфазный генератор переменного тока мощностью 0,433 кВт при 5000 об/мин
Система охлаждения	Жидкостная
Мощность	110,2 л.с. при 12500 об/мин
Крутящий момент	65 Нм при 10500 об/мин
Коробка передач	6-ступенчатая, механическая
Порядок коробки передач	1–N–2–3–4–5–6
Сцепление	Многодисковое в масляной ванне
Привод	Цепной
Аккумуляторная батарея	12 В, 8,6 Ач

В электрическую часть питания двигателя была установлена кнопка-грибок, предназначенная для возникновения чрезвычайных ситуаций, таких как возгорание двигателя. Кнопка имеет возможность отключить подачу тока на топливный насос, форсунки и свечи зажигания.

Кроме того, двигатель снабжен системой вывода отработанных газов в виде выпускного коллектора, к свободному концу которого будут присоединяться экспериментальные глушители. Крышка заливной горловины топливного бака снабжена клапаном вентиляции, выравнивающим давление внутри топливного бака и вне его, предотвращая выплескивание топлива.

Для управления двигателем используется электронный блок управления DTA S 80 (рис. 5). Характеристики блока управления приведены в табл. 3.



Рис. 5. Блок управления DTA S 80

Данный блок управления имеет возможность передавать данные о состоянии двигателя на экран компьютера в реальном времени. Для этого используется провод CAN-USB. Для проведения эксперимента необходим вывод данных о температуре двигателя, скорости вращения коленчатого вала, давлении масла в системе смазки. Эти данные собираются с датчиков, расположенных на двигателе, трансформируются из аналогового сигнала в цифровой блоком управления и отображаются на мониторе.

Для удобства работы с двигателем используется ноутбук ASUS, на котором установлено программное обеспечение DTA Swin. Данная программа в реальном времени отображает данные о работе двигателя, передаваемые блоком управления.

Для измерения уровня звукового давления необходим шумомер с диапазоном измерений 50–140 дБ. Шумомер должен в реальном времени отображать данные на экране компьютера или своем собственном мониторе. В соответствии с требованиями ГОСТ17187–81, был выбран шумомер «Октава 101А».

Проведение испытаний

Цель: определение влияния геометрических размеров глушителя на эффективность его работы. Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

1. Определение влияния изменения диаметра резонаторной трубки на количество поглощенной звуковой энергии.

2. Определение влияния изменения диаметра корпуса глушителя на количество поглощенной звуковой энергии.

3. Определение влияния изменения длины глушителя на количество поглощенной звуковой энергии.

4. Определение влияния изменения диаметра отверстий в резонаторной трубке на количество поглощенной звуковой энергии.

5. Определение влияния изменения расстояния между отверстиями в резонаторной трубке на количество поглощенной звуковой энергии.

В испытаниях используется двигатель HONDA CBR 600 F4i. Этот двигатель часто применяется в соревнованиях «Формула студент». Требования регламента этих со-

ревнований очень строгие и определяют правила проведения замера уровня шума, именно поэтому испытания будут проводиться по требованиям автоспортивного регламента Formula SAE 2017. Требования данного регламента гласят:

- Окончание выхлопной системы не должно выходить за линию задней оси автомобиля на расстояние более 45 см (17,7 дюймов) и не должно превышать 60 см (23,6 дюйма) над поверхностью земли.
- Уровень шума будет измеряться в ходе статических испытаний. Измерения будут проводиться с помощью микрофона, свободного от препятствий на уровне выхлопной трубы, на расстоянии 0,5 м (19,68 дюйма) от конца выпускного отверстия выхлопной системы, под углом 45° к выходному отверстию в горизонтальной плоскости.

Таблица 3

Характеристика электронного блока управления DTA S80

Конфигурация двигателя	20 000 об/мин макс.
	4- и 2-тактная поддержка
	Поддержка 2 свечи на цилиндр
	Поддержка 2 форсунки на цилиндр
	Управляемая пользователем активация вентилятора
	Датчики могут быть откалиброваны индивидуально с большим количеством предустановленных опций
Основные функции топлива и зажигания	Две основные карты: топливная и зажигания, с возможностью корректировки в реальном времени
	Широкие возможности впрыска топлива в зависимости от времени и температуры
	Карты компенсации давления воздуха, температуры охлаждающей жидкости, положения дроссельной заслонки
Функции управления лямбдой	Обширная таблица параметров лямбда
	Полная трехмерная целевая карта лямбда
	Функция автонастройки
Регистрация данных	Можно зарегистрировать до 36 отдельных параметров
	Возможность записи в журнал до 16 часов
Функции диагностики и тестирования	Полная диагностика датчиков и запись неисправностей
	Обширная запись времени работы двигателя при различных условиях нагрузки и скорости
	Возможность использования форсунок и катушек без запуска двигателя
Другие особенности	Водонепроницаемый корпус
	Герметичные фиксаторы
	Размер 134 x 162 x 46 мм
	Вес 1130 г
	Все выходы защищены от перегрева и перегрузки по току
	Входы, защищенные от серьезных ошибок электропроводки и аварий
	Обратная защита аккумулятора
Защита от сброса нагрузки генератора	

- Испытание будет проводиться с коробкой передач в нейтральном положении при указанной ниже скорости вращения двигателя.

Учитывая возможное влияние на результаты эффекта приближения поверхности, глушители во время проведения испытания необходимо расположить горизонтально. Ось глушителей будет находиться на высоте 50 см от поверхности земли (пола). Обобщив требования к проведению эксперимента, определим схему расположения микрофона (рис. 6).

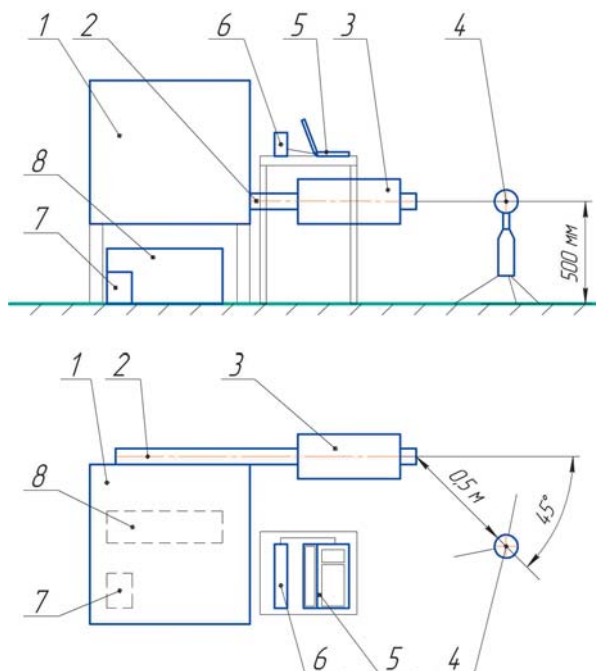


Рис. 6. Испытательный стенд:
1 — двигатель; 2 — выхлопной коллектор; 3 — глушитель;
4 — шумомер; 5 — компьютер; 6 — блок управления двигателем DTA-S 80; 7 — аккумуляторная батарея; 8 — топливный бак

Измерения должны проводиться при различных оборотах двигателя. Для двигателя HONDA CBR 600 F4i максимальное количество оборотов составляет 15 000 об/мин. По требованиям регламента, замер уровня шума для данного двигателя проводится при 11 500 об/мин. При проведении испытаний максимальный уровень, при котором будет проводиться замер уровня шума, будет составлять 14 000 об/мин. Это исключит возможную детонацию топлива в выхлопном коллекторе при ограничении оборотов блоком управления. Минимальные обороты измерения должны быть выше оборотов холостого хода для избегания того же эффекта.

Для двигателя HONDA CBR 600 F4i обороты холостого хода равняются 1500 об/мин, с погрешностью 100

об/мин. Оптимальный температурный интервал для работы такого двигателя 90–110 °С. Данная температура называется рабочей. При первом запуске двигателя обороты его составят 1800–2000 об/мин. В процессе прогрева двигателя, когда температура будет приближаться к рабочей, обороты будут падать до оборотов холостого хода. Двигатель необходимо прогреть, чтобы избежать заклинивания при резком тепловом расширении деталей цилиндра-поршневой группы.

Измерения должны проводиться на прогревом двигателе при оборотах коленчатого вала, указанных в табл. 4.

Таблица 4

Положения оборотов двигателя

№	Обороты двигателя, об/мин
1	2000
2	4000
3	6000
4	8000
5	10000
6	12000
7	14000

В процессе измерения возможно нестабильное отображение значений на экране компьютера и шумомера. Это может быть вызвано «плаванием» оборотов коленчатого вала в процессе работы, поэтому замеры необходимо проводить только после того, как обороты двигателя приняли установившееся значение, максимально приближенное к значениям, указанным в табл. 4. Также для более точного определения измерения при одних и тех же оборотах необходимо проводить 3 раза с интервалом 2–3 с.

Выводы

1. Впервые разработана методика определения геометрических размеров глушителя болида «Формула студент». Ранее на студенческих болидах использовались глушители заводского производства.

2. На основании разработанной методики появляется возможность моделировать затухание в глушителе, тем самым производить дополнительную регулировку мощности двигателя болида, что является хорошим дополнением при использовании рестриктора.

3. Предложенная методика является универсальной и может быть использована для других модификаций спортивных автомобилей. **ИТ**

Список литературы

1. Комкин А. И. Оптимизация реактивных глушителей шума // Акустический журнал. — 2010. — Т. 56. — № 3. — С. 373–379.
2. Голованов О. А., Савицкий В. Я., Мазур А. М. Математические модели реактивно-активных глушителей с базальтовыми набивками // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». — 2010. — Т. 1. — С. 50–52.



**Евгений Сергеевич
Сикорский**
Yevgeny S. Sikorsky



**Дмитрий Германович
Неволин**
Dmitry G. Nevolin

Расчет параметров выпускной системы болида «Формула студент» Уральского государственного университета путей сообщения

Calculation of the parameters of the final bolide system “Formula Student” of the Ural State University of Railway Transport

Аннотация

Статья посвящена расчету параметров выпускной системы студенческого болида, который принимает участие в российских и международных соревнованиях по программе «Формула студент».

Ключевые слова: Уральский государственный университет путей сообщения, болид, «Формула студент», выпускная система, расчет, скорость отработанных газов, время движения газа, длина первичной выхлопной трубы.

Abstract

The article is devoted to the calculation of the parameters of the student final bolide system, which takes part in Russian and international competitions under the “Formula Student” program.

Keywords: Ural State University of Railway Transport, bolide, «Formula Student», final system, calculation, exhaust gas velocity, gas travel time, length of primary exhaust pipe.

DOI:10.20291/2311-164X-2017-2-66-72

Авторы Authors

Евгений Сергеевич Сикорский, магистрант Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | Дмитрий Германович Неволин, действительный член Российской академии транспорта, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Проектирование и эксплуатация автомобилей» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

Yevgeny Sergeevich Sikorsky, Master of Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg | Dmitry Germanovich Nevolin, full member of the Russian Academy of Transport, Dr. of Tech. Sciences, Professor, Head of the Department “Designing and Exploitation of Automobiles” of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg

Исходные данные

В качестве автомобиля, для которого сделан расчет выхлопной системы, был задействован болид «Формулы студент» LIZARD V5. Двигатель для данного болида был выбран от мотоцикла HONDA CBR 600 F4I 2006 г. выпуска (рис. 1).

Особым доработкам, касающимся увеличения мощности путем применения турбонаддува либо вмешательством во внутреннюю конструкцию, двигатель подвергаться не будет. Технические характеристики двигателя приведены в табл. 1.

Согласно регламенту соревнований «Формула студент», болид должен быть оборудован устройством, ограничивающим выпуск воздуха в воздухосорбник с целью уменьшения максимальной мощности двигателя, под названием рестриктор.

Рестриктор состоит из трубки, которая соединяется с ресивером, и дроссельной заслонки диаметром 19 мм. Это существенно ограничивает впуск топливно-воздушной смеси, так как двигатель имеет стандартную впускную систему, состоящую из четырех дроссельных заслонок диаметром 32 мм. Тем самым мощность двигателя снижается. Это сделано для безопасности пилота, так как управлять болидом будут сами студенты, которые не являются профессиональными гонщиками.

Для настройки двигателя по новым параметрам впуска использовался блок управления DTA S80 PRO (рис. 2) производства Великобритании.

Данный блок управления имеет развернутое меню для точной калибровки подачи топлива, угла опережения зажигания, прогревочного режима и т.д. В процессе настройки двигателя на динамическом стенде в Российском университете дружбы народов максимальная мощность достигала 70 л.с. без учета расчетов выпускной системы (рис. 3).

Расчет времени такта выпуска

Из табл. 1 видно, что максимальная мощность достигается при 10 000 об/мин. Именно на этих оборотах будет выполнен расчет выпускной системы болида.

Для правильной работы выпускной системы отработавшие газы должны последовательно в каждом цилиндре создавать разрежение. Для этого волна давления газа при предварительном выпуске должна дойти до места соединения четырех первичных труб в общую трубу в тот момент времени, когда начнется такт выхлопа в следующем цилиндре, тем самым вызвав в нем разрежение для более легкого освобождения от отработавших газов. Для этого необходимо знать скорость газа и время такта выпуска.

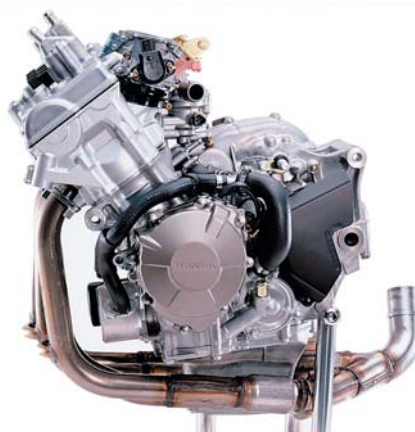


Рис. 1. Двигатель HONDA CBR 600 F4I

Таблица 1

Характеристики двигателя HONDA CBR 600 F4I

Объем двигателя, см³	599
Мощность, л.с.	110 при 10 000 об/мин
Количество цилиндров	4-рядное расположение
Количество тактов	4
Система охлаждения	Жидкостная
ГРМ	Цепной, DOHC



Рис. 2. Блок управления DTA S80 PRO

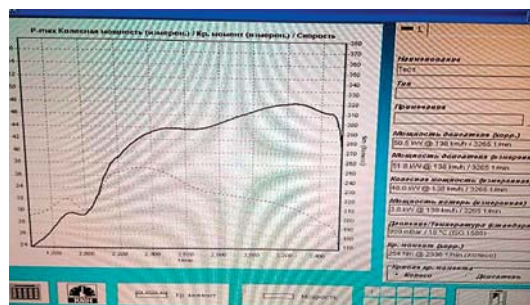


Рис. 3. График характеристик двигателя на динамическом стенде

Время такта выпуска на определенных оборотах можно вычислить следующим образом:

1) Переведем об/мин в об/с.

$$n = N/t, \quad (1)$$

где n — количество оборотов в секунду, об/с; N — количество оборотов в минуту, об/мин; t — время 60 с.

$$n = 10000/60 = 166 \text{ об/с.}$$

2) Вычислим количество тактов, которое произойдет за одну секунду. Двигатель, который был выбран командой «Формула студент» УрГУПС (FS USURT), четырехтактный. Каждый такт происходит за пол-оборота коленчатого вала.

$$T = n \cdot 2, \quad (2)$$

где T — количество тактов за одну секунду, так.

$$T = 166 \cdot 2 = 332 \text{ так/с.}$$

3) Вычислим общее количество тактов, которое произойдет за секунду.

$$T_{\text{вып}} = T/4, \quad (3)$$

где $T_{\text{вып}}$ — количество тактов выпуска за одну секунду, вып/с.

$$T_{\text{вып}} = 266/4 = 80 \text{ вып/с.}$$

4) Вычислим, за какое время проходит один такт выпуска.

$$T_t = 1/T_{\text{вып}}, \quad (4)$$

где T_t — время такта выпуска, с.

$$T_t = 1/80 = 0,0125 \text{ с.}$$

5) Вычислим время, через которое чередуются такты выпуска в двигателе.

$$T_{\text{цил}} = T_t/\zeta, \quad (5)$$

где $T_{\text{цил}}$ — время чередования тактов выпуска, с; ζ — количество цилиндров.

$$T_{\text{цил}} = 0,0125/4 = 0,003125 \text{ с.}$$

Расчет скорости отработавших газов

Зная время начала такта выпуска в следующем цилиндре после начала такта выпуска в предыдущем, можно узнать скорость газа в трубе. Начальная скорость отработавших газов равна 600 м/с [1]. Из-за разности давлений, изменений геометрии, неидеально гладкой внутренней поверхности трубы и многих других факторов скорость, соответственно, будет падать на неизвестную нам величину. Чтобы узнать скорость движения газа в трубе, был проведен эксперимент.

Для эксперимента был сварен макет выпускной системы из одной трубы, представляющий собой патрубок, выходящий из первого цилиндра длиной 0,8 м (рис. 5).

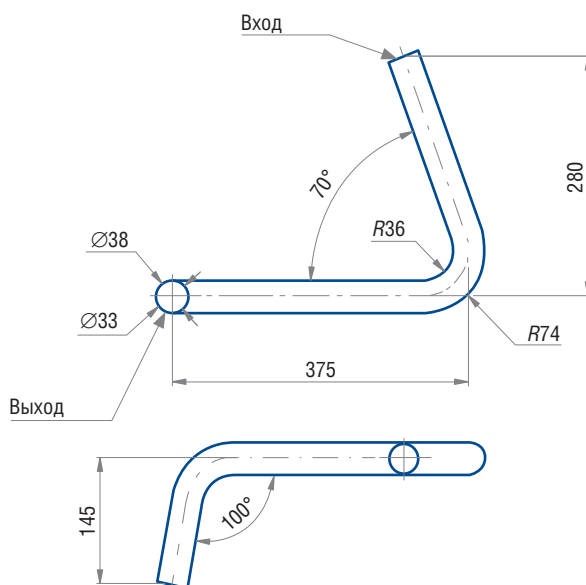


Рис. 5. Чертеж макета выпускной системы

Первая часть макета длиной 0,28 м будет представлять собой длину до схождения всех первичных труб в одну общую трубу. Остальные 0,52 м будут представлять общую трубу, вплоть до входа в глушитель шума.

Все размеры макета подбирались с учетом габаритных размеров рамы будущего болида:

- Угол изгиба 70° , имитирующего первичную трубу, соответствует углу схождения всех труб в одну общую трубу. Этот угол обеспечит равные длины первичных труб до их схождения.
- Расстояние 280 мм — это максимально допустимый размер от выпускного окна двигателя до верхней части топливного бака, с учетом размеров его защиты теплоотражающим экраном.
- Расстояние 375 мм обеспечит выход выпускного коллектора за пределы рамы, но в пределах правой части кузова болида.
- Угол 100° — угол поворота задней части рамы болида.
- Расстояние 145 мм было выбрано произвольно. Далее труба будет выходить в глушитель шума.
- Внутренний диаметр 33 мм совпадает с диаметром выпускного окна двигателя.

Отверстия для замеров сверлятся в макете выпускной системы на разных участках трубы для выявления падения скорости газа. Сверление производится до и после поворота геометрии трубы. На ровном участке длиной 375 мм сверлятся 2 отверстия, для того чтобы узнать, как влияет несовершенство внутренней поверхности трубы на падение скорости (рис. 6).

Эксперимент проводился на базе ЦИИТ УрГУПС с использованием имеющегося в нем оборудования:

1. Компрессор модели FC2/24 CM2. Датчики, которые могут измерять высокую скорость газа и имеют стойкость к высоким температурам, стоят очень дорого. Поэтому для проведения эксперимента было принято решение заменить поток горячих выхлопных газов высокой скорости на поток сжатого компрессором воздуха. Так как процессы тактов выпуска имеют циклический характер, в допущениях было принято, что поток непрерывен и имеет постоянное давление.

2. Анемометр модели TESTO 425. Анемометр этой модели больше остальных подходит для проведения данного эксперимента из-за своих преимуществ:

- Очень высокая точность $\pm 0,03$ м/с.
- Электронный дисплей очень удобен для фиксирования результатов.
- Режим запоминания предыдущих результатов позволяет проводить эксперимент только с одним ассистентом.
- Главный параметр, по которому был выбран данный прибор, — чувствительный элемент имеет форму зонда, что позволяет провести замер внутри трубы через высверленные отверстия.

Эксперимент был проведен в соответствии с программой испытаний. Полученные значения приведены в табл. 2.

Для наглядного представления о падении скорости построен график по полученным данным (рис. 7).

Из графика видно, что наибольшее падение скорости происходит в начале участка трубы. Это связано с тем, что сжатый воздух в первоначальный момент времени выходит из малого отверстия в пистолете компрессора $\varnothing 5$ мм в трубу $\varnothing 33$ мм. Из-за этих разностей в диаметре воздух рассеивается и значительно теряет в скорости. Еще одно падение происходит на участке второго изменения в геометрии. На остальных участках скорость падает практически прямолинейно.

Для расчета реальной скорости необходимо узнать процент падения на каждом из участков по формуле

$$M = V_n / V_0, \quad (6)$$

где M — процент падения скорости на данном участке, %; V_n — скорость выбранного участка, м/с; V_0 — начальная скорость, м/с.

Расчет процента падения скорости представлен в табл. 3.

Зная, на сколько процентов падает скорость сжатого воздуха, можно вычислить скорость отработавших газов двигателя на разных участках трубы при их начальной скорости 600 м/с. Вычисления произвести по формуле

$$V_{0,т} = M/100 \cdot 600. \quad (7)$$



Рис. 6. Макет с отверстиями для замера

Таблица 2

Результаты эксперимента

Расстояние, м	Средняя скорость, м/с
0	20
0,15	10,5
0,2	9
0,35	6,9
0,45	5,8
0,5	4,75
0,65	3,95
0,85	3,9

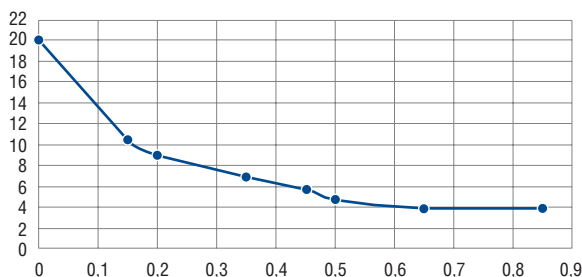


Рис. 7. График зависимости падения скорости от расстояния, экспериментальные данные

Таблица 3

Результаты расчетов процента падения скорости

Длина участка, м	Процент падения, %
0,15	52,5
0,2	45
0,35	34,5
0,45	29
0,5	23,7
0,65	19,7
0,85	19,5

Результаты расчетов реальной скорости представлены в табл. 4.

Таблица 4

Зависимость падения скорости от расстояния

Расстояние, м	Скорость, м/с
0	600
0,15	315
0,2	270
0,35	207
0,45	174
0,5	142
0,65	118
0,85	117

Построим график падения расчетной скорости (рис. 8).

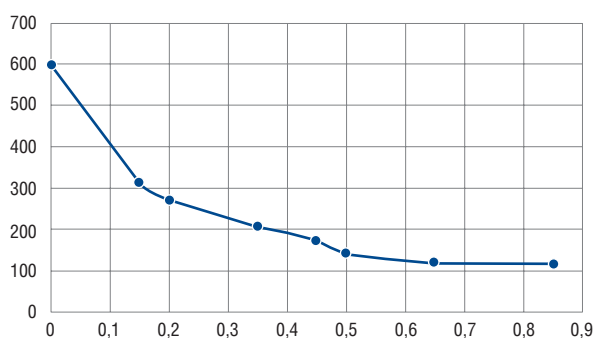


Рис. 8. График падения расчетной скорости

Расчет времени движения газа

На основании выполненного эксперимента, последующих расчетов и построения графиков, сделанных в предыдущем разделе, можно сделать вывод, что движение газа в трубе равнозамедленным не является, поэтому стандартная формула $S = S_0 + V_0 \cdot t - \frac{(a \cdot t^2)}{2}$ для расчета не подходит.

Для дальнейших вычислений получим уравнение движения газа в трубе. Получить уравнение можно в программе MS Excel построением полинома второй степени (рис. 9).

Из-за резкого падения графика на первом участке линия тренда в конце начинает довольно сильно возрастать. Такой график и уравнение его движения принять нельзя, так как скорость в дальнейшем расти не может,

а будет только снижаться. Исключим начальную скорость движения для того, чтобы график получался более гладким. Новый график показан на рис. 10.

Если сравнить два полученных уравнения

$$y = 1035,9x^2 - 1364,1x + 549,18$$

первого графика и

$$y = 513,78x^2 - 790,74x + 416,86,$$

увидим, что коэффициенты уменьшились почти в два раза. Сама линия тренда в конце графика практически не возрастает. Поэтому для дальнейших расчетов не будем учитывать начальную скорость 600 м/с. За нулевую точку для отсчета времени движения газа в трубе примем скорость 315 м/с и расстояние 0,15 м. В конце расчета длины трубы из полученного значения вычтем это расстояние.

Для того чтобы узнать, сколько газ пройдет за 0,003125 с, необходимо знать функцию зависимости пройденного расстояния от времени. Узнаем, за какое время газ пройдет расстояние 0,85 м. Для начала вычислим разности расстояний между участками:

$$\Delta S_{yn} = S_{n+1} - S_n, \quad (8)$$

где ΔS_{yn} — разность n участков, м; S_n — расстояние n -го участка, м.

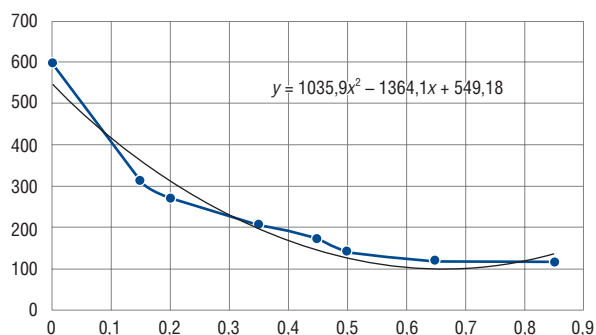


Рис. 9. Зависимость падения скорости от расстояния

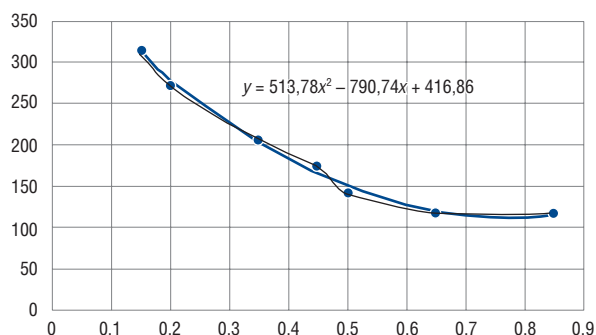


Рис. 10. Зависимость падения скорости от расстояния без учета первоначальной скорости

Результаты расчетов разности длины участков представлены в табл. 5.

В ходе эксперимента была измерена скорость выхлопных газов в каждом из отверстий. Таким образом, зная скорость на входе в определенный участок и скорость на выходе, можно посчитать среднюю скорость на каждом из отрезков:

$$V_{\text{ср}n} = \frac{V_n + V_{n+1}}{2}, \quad (9)$$

где $V_{\text{ср}n}$ — средняя скорость n -го участка, м/с; V_n — скорость участка, м/с.

Результаты расчетов средней скорости на участках представлены в табл. 6.

Зная скорость и расстояние, можно вычислить время прохождения газа на n -м участке:

$$t_n = \frac{S_{yn}}{V_{\text{ср}n}}, \quad (10)$$

где t_n — время прохождения n -го участка.

Расчет времени прохождения участков представлен в табл. 7.

Зная время прохождения каждого участка, можно вычислить суммированное время прохождения газа от начала до каждой выбранной точки, используя формулу

$$t_s = t_n + t_{n+1}, \quad (11)$$

где t_s — время прохождения выбранного участка.

Расчетное время прохождения участков выхлопными газами представлено в табл. 8.

Все расчетные данные эксперимента для удобства сведены в табл. 9.

Расчет длины первичной трубы

В предыдущих разделах с помощью программы Excel были получены данные о времени прохождения газом определенных участков трубы. Получим график зависимости времени от пройденного расстояния (на этом же графике будет отображен полином второй степени) и узнаем функцию графика (рис. 11).

Таблица 5

Расчет разности длины между участками

Длина участка, м	Разность расстояния, м
0,15–0,2	0,05
0,2–0,35	0,15
0,35–0,45	0,1
0,45–0,5	0,05
0,5–0,65	0,15
0,65–0,85	0,2

Таблица 6

Результаты расчетов средней скорости на участках

Длина участка, м	Средняя скорость, м/с
Участок 0,15–0,2	292,5
Участок 0,2–0,35	238,5
Участок 0,35–0,45	190,5
Участок 0,45–0,5	158
Участок 0,5–0,65	130
Участок 0,65–0,85	117,5

Таблица 7

Расчет времени прохождения участков

Длина участка, м	Время прохождения участка, с
0,15–0,2	0,000171
0,2–0,35	0,000629
0,35–0,45	0,000525
0,45–0,5	0,000316
0,5–0,65	0,001154
0,65–0,85	0,001702

Таблица 8

Расчетное время прохождения участков выхлопными газами

Длина участка, м	Время прохождения участка, с
0,15–0,2	0,000171
0,15–0,35	0,0008
0,15–0,45	0,001325
0,15–0,5	0,001641
0,15–0,65	0,002795
0,15–0,85	0,004497

Расчетные данные эксперимента

Расстояние, м	Скорость, м/с	Δ расстояния, м	Средняя скорость, м/с	Время, с	Время прохождения участков, с
0,15	315	0,05	292,5	0,000171	0
0,2	270	0,15	238,5	0,000629	0,000171
0,35	207	0,1	190,5	0,000525	0,0008
0,45	174	0,05	158	0,000316	0,001325
0,5	142	0,015	130	0,001154	0,001641
0,65	118	0,2	117,5	0,001702	0,002795
0,85	117				0,004497

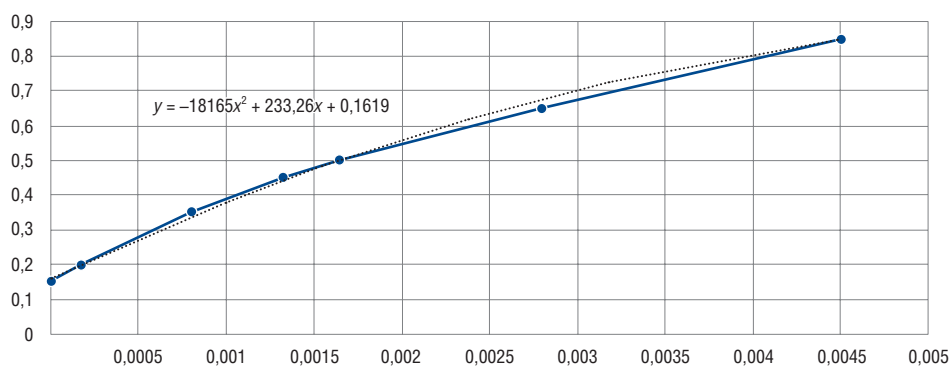


Рис. 11. График зависимости пройденного расстояния от времени

В выведенную функцию графика

$$y = -18165x^2 + 233,26x + 0,1619$$

вместо x нужно подставить время, через которое чередуются такты выпуска в двигателе ($T_{\text{цил}}$). Тем самым мы получим расстояние, которое пройдут отработавшие газы за необходимое время, т.е. длину первичных выпускных труб:

$$y = -18165 \cdot 0,003125^2 + 233,26 \cdot 0,003125 + 0,1619 = 0,713 \text{ м.}$$

В начале расчета скорости газа для более гладкой линии тренда мы исключили начальное расстояние и скорость. Для получения длины вычтем 0,15 м.

$$L_{\text{пер.т}} = 0,439 - 0,15 = 0,563 \text{ м,}$$

где $L_{\text{пер.т}}$ — длина первичной трубы, м.

Выводы

1. В соответствии с техническими характеристиками испытуемого двигателя выбрано количество оборотов 10 000 об/мин, при которых выпускная система должна иметь наибольшую эффективность.

2. Согласно программе испытаний, разработан макет выпускной системы и проведен эксперимент для выявления падения скорости отработавших газов в трубе.

3. Сформирована методика расчета длины выпускных труб, которая включает в себя:

- расчет времени начала такта выпуска в следующем цилиндре после завершения такта выпуска в предыдущем;
- расчет падения скорости отработавших газов на различных участках трубы;
- расчет времени прохождения волны давления газа в трубе;
- расчет длины выпускных труб до схождения в общую трубу. **ИТ**

Список литературы

1. Кобзов А. К., Швецов И. И. Силовые агрегаты : курс лекций / Ставропольский государственный аграрный университет. — Ставрополь, 2014. — 189 с.

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>

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

ПВ	место	литер

на ~~газету~~
журнал

85022

(индекс издания)

Инновационный транспорт

(наименование издания)

Стои- мость	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, *.dvwg.

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. Веб-сайт: 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. Веб-сайт: www.sapr-ks.usurt.ru

